



M 2015

AVALIAÇÃO DOS SISTEMAS DE VENTILAÇÃO IMPLEMENTADOS EM DIFERENTES EDIFÍCIOS

BÁRBARA CRUCHINHO LOPES CARNEIRO

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO APRESENTADA

À FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO EM
ÁREA CIENTÍFICA

AVALIAÇÃO DOS SISTEMAS DE VENTILAÇÃO IMPLEMENTADOS EM DIFERENTES EDIFÍCIOS

BÁRBARA CRUCHINHO LOPES CARNEIRO

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de
MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM CONSTRUÇÕES

Orientadora: Professora Doutora Eva Sofia Botelho Machado Barreira

Coorientador: Professor Doutor Ricardo Manuel dos Santos Ferreira
de Almeida

JANEIRO DE 2015

MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2014/2015

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

Fax +351-22-508 1446

✉ miec@fe.up.pt

Editado por

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-508 1440

✉ feup@fe.up.pt

🌐 <http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado Integrado em Engenharia Civil - 2014/2015 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2015*.

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respetivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

Este documento foi produzido a partir de versão eletrónica fornecida pelo respetivo Autor.

Às minhas duas companheiras de sempre
que deixaram muitas saudades

*“Há vivências que desafiam os alicerces da nossa estrutura mas que nos ajudam a reforçar
as verdadeiras paredes-mestra do nosso Eu.”*

Carolina Lemos

AGRADECIMENTOS

O desenvolvimento deste trabalho, embora se trate de uma tarefa individual, só foi possível devido à colaboração e ao apoio dum conjunto de pessoas, a todos àqueles que contribuíram para a realização desta dissertação quero manifestar o meu sincero agradecimento.

À minha orientadora, Professora Doutora Eva Sofia Botelho Machado Barreira, pelos conhecimentos transmitidos, pela esclarecida orientação sempre que necessária, pelas recomendações, pela contínua disponibilidade, por todos os alertas e pela paciência, simpatia e à vontade.

Ao meu coorientador, Professor Doutor Ricardo Manuel dos Santos Ferreira de Almeida, pelos conhecimentos transmitidos, pelas sugestões, pela disponibilidade mesmo apenas se encontrando semanalmente na FEUP, pelos sábios comentários, pelas atentas correções sistemáticas, pela simpatia e à vontade. A ajuda e presença do Professor na realização, assim como também na preparação dos ensaios foram fundamentais para a concretização da componente experimental deste trabalho.

Agradece-se o apoio da FCT – Fundação para a Ciência e a Tecnologia e do FEDER através do Programa Operacional Fatores de Competitividade – COMPETE, no âmbito do Projeto de Investigação FCOMP-01-0124-FEDER-041748 e EXPL/ECM-COM/1999/2013.

Ao Laboratório de Física das Construções da FEUP, à Prof.^a Eva Barreira e ao Prof. Ricardo Almeida pela disponibilização do material utilizado e do equipamento fundamental para a presente dissertação.

Agradeço aos donos/responsáveis/habitantes dos quatro casos de estudo por cederem tão gentilmente o seu espaço ao longo dum período diurno completo e pela prontidão demonstrada no acerto da data, essencial para o cumprimento dos objetivos deste trabalho, disponibilizando os recursos necessários às campanhas experimentais de medições. Destaco a amabilidade e simpatia do Eng.^o Estevam Barreira.

Não posso deixar de referir todo o carinho, atenção, compreensão e apoio incansável da minha família. Um obrigado sem fim à minha incrível Mãe, ao meu super Pai e aos meus tão queridos Avós, pela inesgotável paciência e por aturarem todos os meus mais variados humores e, em particular, aos meus Pais a quem devo tudo o que sou.

Muito muito obrigada à Dra. Helena Sofia Rocha Lopes por me ter conseguido ajudar numa altura em que eu só me desajudava!

À Carolina por ser a minha estrelinha que está sempre lá pronta para um abraço cheio de força.

Ao Vitor por me conseguir sempre ouvir e ter uma palavra amiga para dizer.

Ao Pepe por todos os sermões e alertas, por escrever sempre as palavras mais difíceis de se lerem e por dizer a verdade nua e crua! E ao João Pedro Macedo por não me deixar cair.

Ao Ricardinho pelo apoio, pela preocupação e disponibilidade em me ajudar. Ao Sérgio pelo incentivo final. À Sara Freitas pelo carinho, pela atenção e pelas elucidações e encaminhamento na altura da escolha do tema da tese. Ao Branco pelo cuidado e pela atenção.

À Ana Rita pelas letrinhas inglesas e pela dica “um tema por semana” que durante tanto tempo andou na minha cabeça, pela sua queridez e conversas amigas.

Ao Renato pela mãozinha de AutoCAD e por toda a sua visão fascinante das Obras de Engenharia.

Ao Rui Pinheiro por, inexplicavelmente, conseguir pôr-me a realizar os trabalhos, mostrar-me que consigo e pela sua ajuda estar sempre por perto.

À Ana Cristina e ao Pedro, o meu caszinho, pelo que aprendi convosco e por tudo o vivemos “naquele” semestre. À Ana pela preocupação, motivação e palavras de incentivo.

À Andreia pelo patrocínio dos chocolates Milka em forma de coração !!! E por ser aquela amiga especial que não se agradece.

Ao Miguel Ferreira por contribuir musicalmente para a banda sonora da minha tese!

À Prisca, pela participação informática e em todas as programações, pela preocupação e atenção demonstradas que nem pareceram estar a 300km de distância. E pela amizade que não se agradece.

À Sara por ter sempre uma palavra de força para dar.

Aos amigos que não referi, aos colegas e conhecidos com quem me cruzei ao longo desta caminhada.

Um obrigado a todos por acreditarem que eu era capaz.

RESUMO

A qualidade do ar interior de edifícios é uma problemática que tem vindo a suscitar, cada vez mais, preocupação. A ventilação é um dos fatores que mais contribui para a qualidade do ar interior, para as condições higrotérmicas e para o consumo de energia dos edifícios, tendo um peso considerável nos seus gastos globais em aquecimento e arrefecimento.

Face a esta preocupação e no sentido de conhecer um pouco melhor a realidade portuguesa, procurou-se avaliar neste trabalho o funcionamento dos sistemas de ventilação implementados em quatro edifícios, construídos em quatro décadas diferentes. Nesse âmbito, levou-se a cabo uma campanha experimental para determinar a taxa de renovação horária do ar, utilizando o Método do Gás Traçador e a Técnica do Declive.

Esta dissertação inclui informação sobre o atual estado do conhecimento, ao nível das exigências da qualidade do ar interior em edifícios de habitação, dos sistemas de ventilação, fundamentalmente os correntemente utilizados em Portugal nos edifícios de habitação coletiva, e dos princípios de ventilação. Exploram-se, ainda, técnicas experimentais: o Método do Gás Traçador, para determinar os fluxos de ar devidos aos sistemas de ventilação.

Durante a campanha experimental realizaram-se ensaios em quatro edifícios de habitação, construídos em quatro décadas diferentes, aplicando-se o Método do Gás Traçador e a Técnica do Declive para a determinação dos caudais de ventilação em vários compartimentos com diferentes condições fronteira (porta aberta / porta fechada e ventilação mecânica ligada ou no máximo / desligada ou no mínimo). Apresentam-se os resultados dos ensaios e uma análise crítica da caracterização dos sistemas de ventilação implementados nas habitações. Avalia-se também a relação entre o número de renovações horárias e as áreas envidraçadas e faz-se uma análise do fluxo de ar dentro dos edifícios.

PALAVRAS-CHAVE: Sistemas de Ventilação, Edifícios de Habitação, Taxa de Renovação Horária do Ar, Método do Gás Traçador, Técnica do Declive.

ABSTRACT

The indoor air quality of buildings is an issue that has aroused more and more concern over the years. Ventilation is one of the factors that contributes most for the indoor air quality, hygrothermal conditions and the energy consumption of buildings, having a considerable weight in the overall costs on heating and cooling.

To address this concern and in order to better understand the Portuguese reality, in this study was evaluated the performance of the ventilation systems implemented in four buildings, constructed in four different decades. In that context, it was carried out an experimental campaign to determine the ventilation rate using the Tracer Gas Method and the Decay Technique.

This dissertation includes information regarding the current state of knowledge at the level of the requirements of indoor air quality in residential buildings, of the ventilation systems, mainly the ones currently used in Portugal in buildings of collective housing, and of the ventilation principles. Besides, it describes experimental techniques: the Tracer Gas Method, to determine the ventilation rate.

During the experimental campaign were performed tests in four residential buildings, constructed in four different decades, applying the Tracer Gas Method and the Decay Technique, in order to determine the ventilation rate in several compartments with different boundary conditions (open door / closed door and mechanical ventilation turned on or at maximum / turned off or at minimum). Both the results of these tests and a critical analysis of the characterization of the ventilation systems implemented in homes are presented in this dissertation. It is also made an evaluation of the relation between the number of air changes and the glazed areas, as well as an analysis regarding possible air flow patterns inside the buildings.

KEYWORDS: Ventilation Systems, Residential Buildings, Air Change Rate, Tracer Gas Method, Decay Technique.

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS	i
RESUMO	iii
ABSTRACT	v
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. ENQUADRAMENTO	1
1.2. INTERESSE E OBJETIVOS DO TRABALHO	2
1.3. ORGANIZAÇÃO E ESTRUTURA DO TEXTO	2
2. VENTILAÇÃO DE EDIFÍCIOS	5
2.1. FUNDAMENTOS TEÓRICOS	5
2.1.1. EXIGÊNCIAS DE QUALIDADE DO AR INTERIOR EM EDIFÍCIOS DE HABITAÇÃO	5
2.1.2. SISTEMAS DE VENTILAÇÃO	7
2.1.2.1. Conceito de ventilação	7
2.1.2.2. Ventilação natural	9
2.1.2.3. Ventilação mecânica	10
2.1.2.4. Ventilação mista	11
2.1.3. LEGISLAÇÃO E NORMALIZAÇÃO EXISTENTES EM PORTUGAL	12
2.2. TÉCNICAS EXPERIMENTAIS	14
2.2.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS	14
2.2.2. MÉTODO DO GÁS TRAÇADOR	14
2.2.2.1. Definição do método	14
2.2.2.2. Gases traçadores	15
2.2.2.3. Técnicas do Método do Gás Traçador	17
2.2.2.4. Técnica do Declive	18
3. AVALIAÇÃO EXPERIMENTAL	23
3.1. OBJETIVOS E METODOLOGIA	23
3.2. CASOS DE ESTUDO	23
3.2.1. RUA GODINHO DE FARIA	23
3.2.1.1. Enquadramento	23

3.2.1.2. Caracterização construtiva	24
3.2.1.3. Descrição do sistema de ventilação	24
3.2.2. AVENIDA DO CONDE.....	25
3.2.2.1. Enquadramento	25
3.2.2.2. Caracterização construtiva	26
3.2.2.3. Descrição do sistema de ventilação	27
3.2.3. AVENIDA DR. DOMINGOS GONÇALVES DE SÁ	27
3.2.3.1. Enquadramento	27
3.2.3.2. Caracterização construtiva	28
3.2.3.3. Descrição do sistema de ventilação	29
3.2.4. RUA DE NOSSA SRA. DE FÁTIMA.....	29
3.2.4.1. Enquadramento	29
3.2.4.2. Caracterização construtiva	30
3.2.4.3. Descrição do sistema de ventilação	31
3.3. ENSAIOS	31
3.3.1. PROCEDIMENTO DE ENSAIO	31
3.3.2. EQUIPAMENTO UTILIZADO	37
 4. RESULTADOS	 39
4.1. APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS	39
4.1.1. RESULTADOS GLOBAIS	39
4.1.2. RESULTADOS GF	41
4.1.3. RESULTADOS AC.....	44
4.1.4. RESULTADOS DGS	47
4.1.5. RESULTADOS NSF.....	50
4.2. ANÁLISES E COMPARAÇÕES	53
4.3. DISCUSSÃO COMPLEMENTAR	61
4.4. SÍNTESE CRÍTICA.....	67
 5. CONCLUSÕES	 69
5.1. CONCLUSÕES PRINCIPAIS	69
5.2. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS	71

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	73
---	-----------

ANEXOS	81
---------------------	-----------

ANEXO I	ENSAIO GF
ANEXO II	ENSAIO AC
ANEXO III	ENSAIO DGS
ANEXO IV	ENSAIO NSF
ANEXO V	GRÁFICOS

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 – Ventilação vs Conforto (adaptado de Freitas, 2008)	6
Figura 2.2 – Qualidade do ar interior (QAI) (adaptado das Auditorias da Qualidade do Ar Interior da LF Infintech Engenharia e da SolGás, respetivamente)	6
Figura 2.3 – Exemplo esquemático de ventilação num edifício de habitação unifamiliar (adaptado de Viegas, 1995)	8
Figura 2.4 – Exemplo de um sistema de ventilação VMC com admissão de ar na fachada (adaptado de Pinto, 2006; Amaral, 2008).....	11
Figura 2.5 – Condicionantes da ventilação (adaptado de Freitas, 2012)	12
Figura 2.6 – Técnica do Declive: gráfico do decaimento da concentração do gás traçador e gráfico do logaritmo neperiano da concentração em função do tempo	19
Figura 2.7 – Exemplo do posicionamento dos ventiladores (adaptado de Maldonado <i>et al</i> , 1983)	20
Figura 3.1 – Vista aérea da Rua Godinho de Faria	24
Figura 3.2 – Habitação em estudo e entrada do edifício na Rua Godinho de Faria.....	24
Figura 3.3 – Grelha das instalações sanitárias na posição aberta	25
Figura 3.4 – Vista aérea da Avenida do Conde	25
Figura 3.5 – Habitação em estudo e entrada do edifício na Avenida do Conde	26
Figura 3.6 – Radiador pertencente ao aquecimento central e fogão de sala	26
Figura 3.7 – Grelha do extrator das instalações sanitárias e a sua tecla de acionamento	27
Figura 3.8 – Vista aérea da Avenida Dr. Domingos Gonçalves de Sá	27
Figura 3.9 – Habitação em estudo e entrada do Edifício Estrela d’Avenida.....	28
Figura 3.10 – Tomadas da aspiração central, radiador pertencente ao aquecimento central e fogão de sala	28
Figura 3.11 – Grelhas de admissão de ar na lavandaria/arrumos e portas de acesso à cozinha.....	29
Figura 3.12 – Vista aérea da Rua de Nossa Sra. de Fátima	30
Figura 3.13 – Habitação em estudo e entrada do edifício na Rua de Nossa Sra. de Fátima	30
Figura 3.14 – Radiador pertencente ao aquecimento central	31
Figura 3.15 – Resumo esquemático do método de decaimento do gás traçador (adaptado de ISO 12569, 2012)	32
Figura 4.1 – Gráfico comum aos quatro casos de estudo de temperatura e de humidade relativa exterior e interior e de velocidade do vento perpendicular e paralelo à fachada durante os ensaios realizados	39
Figura 4.2 – Ficha de ensaio exemplificativa – GF4.2.2.....	41
Figura 4.3 – Gráfico alusivo ao ensaio no quarto com a porta fechada – GF1.2.	42
Figura 4.4 – Gráfico alusivo ao ensaio na instalação sanitária com a porta aberta – GF2.1.	42
Figura 4.5 – Gráficos resumo do número de renovações horárias e dos caudais em GF	43

Figura 4.6 – Ficha de ensaio exemplificativa – AC2.1.2.....	44
Figura 4.7 – Gráfico alusivo ao ensaio no quarto com a porta aberta – AC1.1.....	45
Figura 4.8 – Gráfico alusivo ao ensaio na cozinha com a extração ligada e a porta fechada – AC4.2.2.	45
Figura 4.9 – Gráficos resumo do número de renovações horárias e dos caudais em AC	46
Figura 4.10 – Ficha de ensaio exemplificativa – DGS5.1.....	47
Figura 4.11 – Gráfico alusivo do ensaio na sala com a porta aberta – DGS4.1.....	48
Figura 4.12 – Gráfico alusivo do ensaio na instalação sanitária e a porta fechada – DGS2.2.	48
Figura 4.13 – Gráficos resumo do número de renovações horárias e dos caudais em DGS	49
Figura 4.14 – Ficha de ensaio exemplificativa – NSF1.2.....	50
Figura 4.15 – Gráfico alusivo ao ensaio na sala com a porta fechada – NSF4.2.....	51
Figura 4.16 – Gráfico alusivo ao ensaio na cozinha com a extração ligada, o caudal mínimo e a porta aberta – NSF3.1.1.....	51
Figura 4.17 – Gráficos resumo do número de renovações horárias e dos caudais em NSF	52
Figura 4.18 – Gráfico alusivo ao ensaio na sala com a porta fechada – GF3.2.....	53
Figura 4.19 – Gráficos resumo do número de renovações horárias e dos caudais nos quartos	54
Figura 4.20 – Gráficos resumo do número de renovações horárias nas instalações sanitárias sem e com extração.....	55
Figura 4.21 – Gráficos resumo dos caudais nas instalações sanitárias sem e com extração	56
Figura 4.22 – Gráficos resumo do número de renovações horárias nas cozinhas sem e com extração	57
Figura 4.23 – Fotografias ilustrativas de possíveis entradas de ar nas cozinhas dos quatro casos de estudo.....	58
Figura 4.24 – Gráficos resumo dos caudais nas cozinhas sem e com extração.....	58
Figura 4.25 – Gráficos resumo do número de renovações horárias e dos caudais nas salas	59
Figura 4.26 – Médias do número de renovações horárias por compartimento	60
Figura 4.27 – Médias dos caudais por compartimento	60
Figura 4.28 – Nuvem de pontos global dos resultados das renovações por hora em função da área envidraçada.....	61
Figura 4.29 – Nuvem de pontos global dos resultados das renovações por hora em função da área envidraçada sobre a área do pavimento.....	62
Figura 4.30 – Nuvem de pontos global dos resultados das renovações por hora em função da área envidraçada sobre a área opaca.....	62
Figura 4.31 – Equilíbrio de caudais possível em GF	64
Figura 4.32 – Fluxo de ar possível em NSF.....	65
Figura 4.33 – Caudais-tipo a extrair nos compartimentos de serviço e a admitir nos compartimentos principais mencionados na norma NP 1037-1 (adaptado de NP 1037-1, 2002)	66

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 2.1 – Concentrações máximas de referência de poluentes no interior dos edifícios existentes (adaptado de RSECE, 2006).....	7
Quadro 2.2 – Exemplos de sistemas de ventilação natural (adaptado de Amaral, 2008)	9
Quadro 2.3 – Exemplos de sistemas de ventilação mecânica (adaptado de Amaral, 2008)	10
Quadro 2.4 – Análise comparativa de alguns gases (adaptado de Roulet <i>et al</i> , 1991; Amaral, 2008)	16
Quadro 2.5 – Propriedades do hexafluoreto de enxofre (SF ₆) (adaptado de Amaral, 2008)	17
Quadro 2.6 – Técnica do Declive (adaptado de Roulet <i>et al</i> , 1991; Etheridge <i>et al</i> , 1996)	21
Quadro 3.1 – Códigos dos ensaios	36
Quadro 3.2 – Equipamento utilizado nos ensaios.....	38
Quadro 4.1 – Condutas de extração de ar	40
Quadro 4.2 – Quadro resumo dos resultados obtidos em GF	43
Quadro 4.3 – Quadro resumo dos resultados obtidos em AC	46
Quadro 4.4 – Quadro resumo dos resultados obtidos em DGS	49
Quadro 4.5 – Quadro resumo dos resultados obtidos em NSF	52
Quadro 4.6 – Equilíbrio de caudais teoricamente esperado	63

SÍMBOLOS, ACRÓNIMOS E ABREVIATURAS

SÍMBOLOS

c_0 – concentração inicial em volume do gás traçador [-]

CO_2 – dióxido de carbono

HR – humidade relativa [%]

$\ln(c)$ – logaritmo neperiano da concentração

N_2O – óxido nitroso

q – caudal de ar exterior [m^3/s]

Q – caudal de ventilação [m^3/h]

R^2 – coeficiente de determinação

RPH – renovação horária [h^{-1}]

SF_6 – hexafluoreto de enxofre

V – volume efetivo do espaço [m^3]

τ_n – constante de tempo nominal [s]

ACRÓNIMOS

AC – Avenida do Conde

AHSRAE – American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers

ASTM – American Society for Testing Materials

AVAC – Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado

CEN – European Committee for Standardization

DGS – Avenida Dr. Domingos Gonçalves de Sá

DIS – Draft International Standard

EN – European Standard

FEUP – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

GF – Rua Godinho de Faria

IPMA – Instituto Português do Mar e da Atmosfera

IPQ – Instituto Português da Qualidade

ISO – International Organization for Standardization

LFC – Laboratório de Física das Construções

LNEC – Laboratório Nacional de Engenharia Civil

NP – Norma Portuguesa

NSF – Rua de Nossa Sra. de Fátima

QAI – Qualidade do ar interior

RCCTE – Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios

RECS – Regulamento de Desempenho Energético de Comércio e Serviços

REH – Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação

REHVA – Federation of European Heating, Ventilation & Air conditioning Associations

RGEU – Regulamento Geral das Edificações Urbanas

RN – Região Norte

RPH – Renovações por hora

RSECE – Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios

RTHS – Recomendações Técnicas para Habitação Social

SCE – Sistema de Certificação Energética dos Edifícios

UP – Universidade do Porto

UPS – Uninterruptible power supply

VMC – Ventilação mecânica centralizada

ABREVIATURAS

DL – Decreto-Lei

Temp – Temperatura

1

INTRODUÇÃO

1.1. ENQUADRAMENTO

Durante muitos anos, a taxa de ventilação não era controlada e estava totalmente dependente da abertura de portas e janelas e também do efeito das chaminés, uma vez que as infiltrações e as exfiltrações criavam fluxos incontroláveis, levando a um aumento do consumo de energia para garantir as adequadas condições de conforto térmico.

Na atualidade, a organização da vida familiar não possibilita ventilar as habitações abrindo janelas em pequenos intervalos de tempo, tal como se fazia no passado, pois os moradores passam grande parte do dia fora de casa, fazendo até com que negligenciem este ato tão importante da renovação do ar interior. O facto da qualidade dos materiais da envolvente do edifício, como as portas e as caixilharias, se ter desenvolvido e de as técnicas utilizadas na construção terem evoluído, implicou uma diminuição das renovações de ar, traduzindo-se numa redução da qualidade do ar interior, que pode conduzir ao aparecimento de condensações e outro tipo de patologias. Percebe-se então a importância da escolha do sistema de ventilação.

Os sistemas de ventilação possuem um papel fundamental na definição das condições higrotérmicas dos edifícios, sendo essenciais para a remoção de poluentes e humidade produzida, garantindo os níveis de oxigénio necessários para o metabolismo humano e certificando um desempenho eficiente dos dispositivos de combustão. A ventilação dos edifícios varia em função das suas características intrínsecas, da sua orientação e da exposição aos agentes atmosféricos, do próprio lugar de implantação, depende da ocupação, das aberturas para o exterior e inevitavelmente do tipo de dispositivos de ventilação instalados. Atualmente, em Portugal, a ventilação é responsável por cerca de 30 a 40% do total da energia consumida pelos edifícios. Encontra-se generalizada a ideia de que a energia e o ambiente são bens que devem ser geridos e usados com os cuidados adequados, defendida pela regulamentação em vigor (REH) que especifica que as exigências do conforto térmico, da qualidade do ar interior e das águas quentes sanitárias sejam cumpridas sem o gasto exagerado de energia.

A noção de desenvolvimento está ligada a uma melhoria das condições de vida, o que implica maiores preocupações com o conforto. A ventilação contribui perentoriamente para a melhoria da qualidade do ar interior das habitações, logo influencia diretamente o conforto e o bem-estar dos seus ocupantes.

Face a todas estas questões justifica-se a procura pelo conhecimento da situação existente nos edifícios de habitação portugueses, implicando avaliar o funcionamento dos sistemas de ventilação implementados em variados edifícios e de preferência construídos em épocas diferentes.

1.2. INTERESSE E OBJETIVOS DO TRABALHO

O estudo da ventilação no interior de edifícios é de uma elevada importância para o conhecimento das características do ambiente interior, como a quantificação das taxas de renovação de ar e dos respetivos caudais de ventilação.

O objetivo principal do trabalho desenvolvido na presente dissertação consistiu na avaliação do funcionamento dos sistemas de ventilação implementados em quatro edifícios, construídos em quatro décadas diferentes. Para o atingir definiu-se um conjunto de tarefas e objetivos parciais, que a seguir se sintetizam:

- Compilação da informação sobre o atual estado do conhecimento, ao nível das exigências da qualidade do ar interior em edifícios de habitação e dos sistemas de ventilação, fundamentalmente os correntemente utilizados em Portugal nos edifícios de habitação coletiva;
- Levantamento da legislação e normalização existentes em Portugal sobre os princípios de ventilação;
- Exploração das técnicas experimentais mais utilizadas para caracterizar a ventilação de edifícios de habitação: o Método do Gás Traçador, para determinar os fluxos de ar devidos aos sistemas de ventilação;
- Realização duma campanha experimental em quatro edifícios de habitação, construídos em quatro décadas diferentes, aplicando-se o Método do Gás Traçador e a Técnica do Declive que permitisse determinar a taxa de renovação horária do ar em vários compartimentos com diferentes condições fronteira (porta aberta / porta fechada e ventilação mecânica ligada ou no máximo / desligada ou no mínimo);
- Estimação do número de renovações horárias de ar e dos respetivos caudais de ventilação em diversos compartimentos com distintas condições fronteira;
- Estabelecimento de comparações entre os quatro casos de estudo e avaliação dos seus sistemas de ventilação;
- Análise crítica da caracterização dos sistemas de ventilação implementados nas habitações suportada pelos resultados obtidos;
- Avaliação da relação entre o número de renovações horárias e as áreas envidraçadas;
- Análise do fluxo de ar dentro dos edifícios.

1.3. ORGANIZAÇÃO E ESTRUTURA DO TEXTO

O texto encontra-se organizado em cinco capítulos cujos conteúdos são os seguintes:

- Capítulo 1 – De caráter introdutório, enquadra o trabalho desenvolvido, define os seus objetivos e a estratégia utilizada para os alcançar e apresenta a sua organização resumindo os restantes capítulos;

- Capítulo 2 – Estabelece-se o estado da arte sobre o conhecimento da ventilação de edifícios, apresenta uma revisão da literatura disponível alusiva ao tema ventilação, a nível das exigências da qualidade do ar interior em edifícios de habitação, percorrendo os vários sistemas de ventilação (natural, mecânica e mista) com ênfase nos correntemente utilizados em Portugal nos edifícios de habitação coletiva e referindo a legislação e a normalização existentes em Portugal. Explora técnicas experimentais: o Método do Gás Traçador. Devido à sua aplicação nos ensaios realizados neste trabalho, caracterizam-se os gases traçadores e mencionam-se e explicam-se algumas técnicas, descrevendo detalhadamente a adotada, a Técnica do Declive;
- Capítulo 3 – De carácter experimental, indica os objetivos e a metodologia usada, introduz os quatro casos de estudo, enquadrando-os, fazendo uma caracterização construtiva e descrevendo o sistema de ventilação de cada um. São abordados os ensaios, pormenorizando os procedimentos de ensaio (os vários compartimentos onde vão decorrer os registos e as diferentes condições fronteira: porta aberta / porta fechada e ventilação mecânica ligada ou no máximo / desligada ou no mínimo) e enumerando o equipamento utilizado;
- Capítulo 4 – Apresenta os resultados da campanha experimental nos quatro edifícios de habitação, construídos em quatro décadas diferentes, e uma análise crítica da caracterização dos sistemas de ventilação implementados nas habitações. Estabelece comparações entre os casos de estudo. Complementa com uma discussão onde se avalia a relação entre o número de renovações horárias e as áreas envidraçadas e se faz uma análise do fluxo de ar dentro dos edifícios. Termina com uma síntese crítica onde se expõem as conclusões mais relevantes;
- Capítulo 5 – Resume as principais conclusões deste estudo, alerta para as recomendações mais importantes na conceção de um sistema misto de ventilação e perspectiva desenvolvimentos futuros neste domínio de investigação.

2

VENTILAÇÃO DE EDIFÍCIOS

2.1. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1.1. EXIGÊNCIAS DE QUALIDADE DO AR INTERIOR EM EDIFÍCIOS DE HABITAÇÃO

Os sistemas construtivos e as tecnologias aplicadas na construção dos edifícios têm-se vindo a modificar ao longo dos anos, estando a preocupação de garantir aos seus ocupantes níveis de conforto adequados a exigências crescentes sempre presente. Passa-se mais tempo dentro das habitações (cerca de 90% das vidas dos ocupantes dos edifícios ocorre no seu interior), as caixilharias estão cada vez mais estanques (está-se a reduzir a permeabilidade ao ar), é mais comum o recurso a sistemas de ar-condicionado complexos e, para além disso, a exigência em relação ao conforto, pela parte do utilizador, aumenta de dia para dia. Há um fator histórico que também teve a sua contribuição: na década de 70, a crise petrolífera fez subir os preços dos combustíveis, provocando uma tendência a nível mundial para a conservação de energia nas habitações. Com o intuito de minimizar as perdas de calor para o exterior, reduziram-se as aberturas de ventilação, o que condicionou a eliminação dos poluentes existentes dentro dos edifícios (Amaral, 2008; Almeida, 2011; REHVA, 2010).

Num edifício de habitação a qualidade do ar não deve interferir negativamente na saúde das pessoas, deve estimular a atividade humana e o trabalho (Fanger, 2005; Freitas, 2008). Substâncias resultantes da utilização dos espaços ou provenientes dos materiais que os incorporam contaminam o ambiente interior dos edifícios, sem contar com o ar exterior como fonte de poluição. Essa contaminação, dependendo das características e da concentração dessas substâncias, pode ter impacto no bem-estar dos ocupantes, tendo efeitos variados desde a sensação do mal-estar à causa de doenças graves ou até responsável pela morte, no caso do monóxido de carbono. Algumas atividades (Figura 2.1) constituem fontes de poluentes, tais como: a atividade fisiológica humana, o tabaco, a combustão nos aparelhos a gás, a confeção de alimentos, a lavagem e secagem de louça/roupa e a utilização das instalações sanitárias. Com uma adequada ventilação é possível obter uma boa qualidade do ambiente interior. Mas uma deficiente estratégia de ventilação pode causar desconforto, como acontece com as correntes de ar (Viegas, 2000; IPQ 2002).

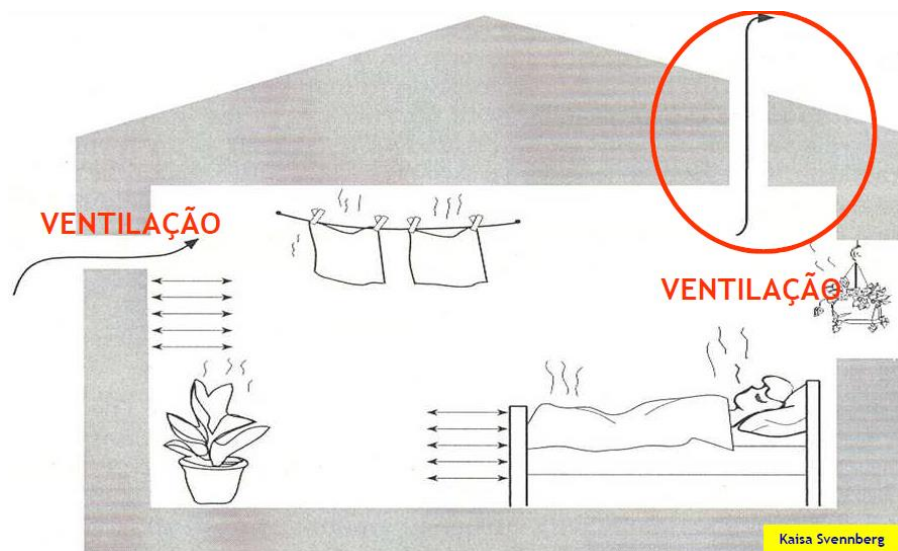


Figura 2.1 – Ventilação vs Conforto (adaptado de Freitas, 2008)

A qualidade do ar interior (QAI) depende de muitos fatores: da velocidade do ar, da temperatura, da humidade relativa, da existência de odores, da concentração de microrganismos ou poeiras em suspensão no ar, entre outros, e o conceito é bastante complexo e abrangente (Figura 2.2).



Figura 2.2 – Qualidade do ar interior (QAI) (adaptado das Auditorias da Qualidade do Ar Interior da LF Infinittech Engenharia e da SolGás, respetivamente)

A qualidade tem de ser garantida cumprindo dois critérios, um de saúde e um sensorial. O de saúde implica evitar que poluentes perigosos atinjam concentrações que possam pôr em risco a saúde dos ocupantes e o sensorial envolve conseguir o critério de saúde mas mantendo um ambiente agradável (Freitas, 2008).

A norma AHSRAE define que a qualidade do ar interior é aceitável quando, de acordo com o fixado por autoridades reconhecidas e quando pelo menos 80% dos ocupantes expostos não manifestaram insatisfação, não existem contaminantes conhecidos em concentrações perigosas (Almeida, 2011; AHSRAE, 2004). É de salientar que a concentração de dióxido de carbono no ar interior é um parâmetro de avaliação, não só da qualidade do ar interior, mas também da taxa de ventilação na legislação internacional. O Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios é o regulamento que define em Portugal as concentrações máximas regulamentares para os agentes poluentes no interior dos edifícios. Para além da informação constante no Quadro 2.1, o RSECE também limita os microrganismos, bactérias e fungos, em 500UFC/m³, a *Legionella* (pesquisa obrigatória em edifícios com sistema AVAC com produção de aerossóis) em 100UFC/l e o Radão (pesquisa obrigatória em zonas graníticas, como por exemplo: nos distritos de Braga Vila Real, Porto, Guarda, Viseu e Castelo Branco) em 400Bq/m³ (Amaral, 2008; Almeida, 2011; RSECE, 2006).

Quadro 2.1 – Concentrações máximas de referência de poluentes no interior dos edifícios existentes
(adaptado de RSECE, 2006)

Parâmetros	Concentração máxima de referência [mg/m ³]
Partículas suspensas no ar (PM ₁₀)	0,15
Dióxido de carbono	1800
Monóxido de carbono	12,5
Ozono	0,2
Formaldeído	0,1
Compostos orgânicos voláteis totais	0,6

Em edifícios de habitação, os sistemas de ventilação têm, principalmente, de assegurar a qualidade do ar interior e, existindo aparelhos de combustão, de garantir a entrada de ar novo e a extração dos produtos de combustão. Quando se considera um sistema de ventilação, as condições de conforto e de segurança devem estar sempre presentes, assim como, a minimização dos consumos de energia (Almeida, 2006). A ventilação tem como função: fornecer oxigénio aos utilizadores dos edifícios, diluir e remover certos poluentes, controlar a humidade interior e fornecer ar para os aparelhos de combustão (CEN/TR 14788, 2006).

2.1.2. SISTEMAS DE VENTILAÇÃO

2.1.2.1. Conceito de ventilação

Ventilare, do latim, significa expor-se ao vento. A definição de ventilação é a renovação do ar que está dentro duma habitação por ar mais limpo do exterior, por outras palavras, é o conjunto de processos que promovem, de forma controlada, os fluxos de ar entre o interior e o exterior.

As estratégias de ventilação e uma minimização das fontes de poluentes, isto é, o uso de materiais de construção, revestimentos e mobiliários com uma baixa emissão de poluentes, influenciam a qualidade do ar interior, desempenhando a ventilação um papel fundamental. Estratégias de ventilação adequadas passam por uma exaustão localizada, ou seja, a extração dos poluentes feita junto à fonte de emissão principalmente quando é intensa e pontual, como é o caso das *hottes* nas cozinhas.

Outra estratégia de ventilação poderá consistir na diluição da concentração dos poluentes interiores, conseguida através da insuflação de ar novo e posterior extração do ar já “viciado” (Figura 2.3). Os mecanismos de diluição e de remoção, ao contrário da exaustão localizada, estão preparados para eliminar poluentes gerados de uma forma dispersa (Comissão de Coordenação da RN e UP, 2000; Amaral, 2008).

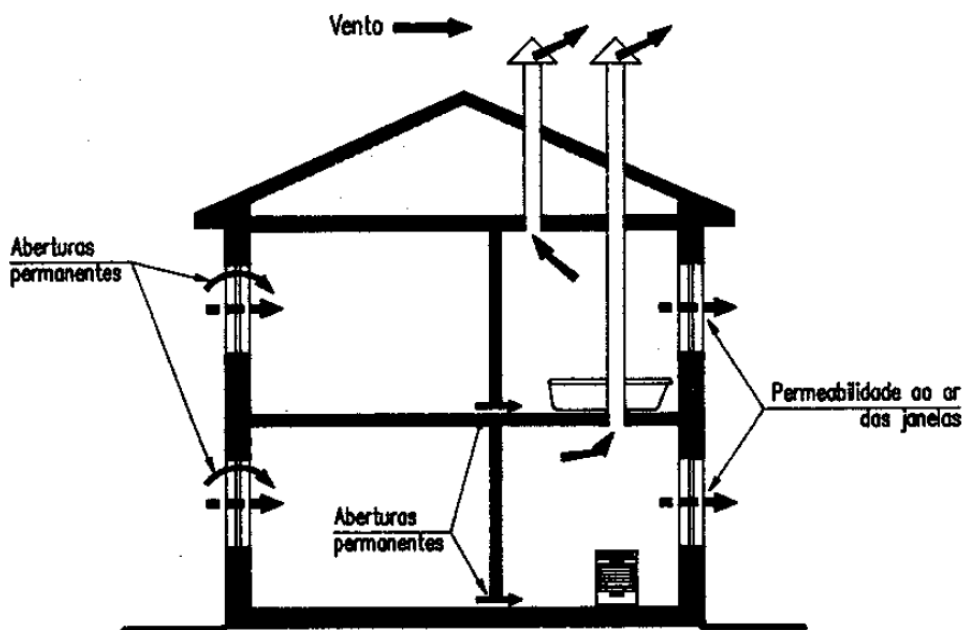


Figura 2.3 – Exemplo esquemático de ventilação num edifício de habitação unifamiliar (adaptado de Viegas, 1995)

As taxas de ventilação estão limitadas superiormente pelos critérios de conservação de energia e inferiormente pelo método prescritivo ou pelo método exigencial (Haberda *et al*, 1989; Avgelis *et al*, 2004; Amaral, 2008).

O método prescritivo define um caudal de ventilação de ar novo que pode ser expresso por pessoa, por unidade de área ou unidade de volume, dando, neste último caso, origem ao parâmetro de renovações por hora ($RPH [h^{-1}]$). Os requisitos são pouco complexos e definem um determinado valor para uma situação tipo. Porém, os novos sistemas de ventilação poderão ser restringidos por esta metodologia (Tip-vent, 2001).

O método exigencial limita a exposição máxima, definindo os limites de concentração dos potenciais poluentes, recorrendo aos critérios sensorial e de saúde. Inicialmente pressupunha-se que apenas a ocupação humana degradava a qualidade do ambiente interior, fazendo com que as taxas de ventilação fossem baseadas na concentração de CO_2 de origem metabólica – critério sensorial. Ultimamente admite-se que o próprio edifício é uma fonte de poluição, passando-se a contabilizar todas as fontes, para além dos ocupantes (Bluyssen *et al*, 1996). Há vantagens do método exigencial sobre o método prescritivo, uma vez que os sistemas de ventilação e AVAC são dimensionados para garantir o controlo na fonte. Contudo, a sua aplicação é mais complicada, visto ser necessário conhecer vários parâmetros e controlar diferentes poluentes (Avgelis *et al*, 2004). É difícil encontrar uma taxa de ventilação que mantenha os poluentes a um nível aceitável, pois no ser humano a percepção e os efeitos biológicos da mistura de poluentes podem não ser os mesmos do que os obtidos analisando individualmente cada poluente (ASHRAE, 2004; Awbi, 2003; Silva, 2000; Amaral, 2008).

Na prática, recorre-se à prescrição de renovações horárias para toda a habitação ou de caudais para determinados compartimentos, considerando a sua ocupação e o tipo de atividades que neles se desenvolvem. No caso das cozinhas e das instalações sanitárias, o principal condicionador dos caudais de extração é a humidade relativa. Nos quartos e nas salas deve ser feita a admissão de ar de forma a fornecer oxigénio metabólico e a diluir poluentes e odores dos ocupantes (Concannon, 2002).

A livre circulação do ar dentro duma habitação, dos compartimentos principais para os compartimentos de serviço assegura a sua renovação. A entrada de ar, pelos compartimentos principais, pode ser natural ou mecânica e é feita por aberturas na envolvente exterior ou através de condutas de admissão. A saída de ar, pelos compartimentos de serviço, natural ou recorrendo a dispositivos mecânicos, é realizada por condutas de extração ou por vãos em contacto direto com o exterior.

2.1.2.2. Ventilação natural

No Quadro 2.2, descrevem-se sumariamente as estratégias de ventilação natural mais conhecidas (Amaral, 2008).

Quadro 2.2 – Exemplos de sistemas de ventilação natural (adaptado de Amaral, 2008)

Estratégias	Descrição
Infiltração / Exfiltração	Admissão / Exaustão de ar através de frinchas em elementos da envolvente, como as portas e as janelas.
Ventilação em fachada única	Admissão e exaustão de ar através de aberturas, grelhas ou janelas, existentes numa única fachada.
Ventilação cruzada	Admissão e exaustão de ar através de aberturas, grelhas ou janelas, existentes em fachadas opostas ou em locais opostos dentro do mesmo compartimento.
Ventilação através de condutas	Admissão de ar através de frinchas, aberturas ou grelhas existentes na envolvente e exaustão de ar através de condutas em compartimentos de serviço.

A ventilação natural é a que ocorre apenas devido a fenómenos naturais, prescindindo de dispositivos mecânicos. Deve-se à existência de diferenças de pressão de ar entre os ambientes exterior e interior, que podem ser provocadas pela ação do vento e pelas diferenças de temperaturas entre o interior e o exterior. Então, está dependente de duas forças motrizes: do vento e do efeito chaminé.

- Ação do vento – O vento ao incidir na envolvente do edifício condiciona algumas áreas a apresentarem pressão positiva e outras, pressão negativa. Esta diferença de pressão promove as movimentações de ar pelo edifício, que se realizam dos locais com maior pressão para os de menor pressão.

- Efeito chaminé – As diferentes temperaturas entre o ar interior e o exterior fazem com que haja uma movimentação das massas de ar, entrando no edifício a um nível inferior e saindo por um nível superior. As correntes de ar são resultado de massas volúmicas distintas do ar a diferentes temperaturas.

Há a possibilidade destas duas forças atuarem em conjunto, aumentando ou diminuindo a taxa de ventilação. O facto do vento e das temperaturas variarem ao longo do tempo e se alterarem consoante o local, dificulta a correta contabilização das taxas de ventilação (Rodrigues, 2014b).

Os sistemas de ventilação exclusivamente naturais caíram em desuso devido à instalação de exaustores, cujo funcionamento intermitente pode perturbar o processo de ventilação. Assim, a ventilação natural evoluiu de sistemas naturais de extração para sistemas mistos (Freitas, 2008).

2.1.2.3. Ventilação mecânica

A ventilação mecânica é a que recorre a meios mecânicos, conseguindo os seus sistemas um melhor controlo das taxas de ventilação, sendo a mais adequada para edifícios em altura. Porém, tem a grande desvantagem de precisar de energia para o funcionamento, para além dos ventiladores emitirem ruído e exigirem manutenção. Os sistemas de ventilação mecânica mais comuns encontram-se resumidos no Quadro 2.3 (Amaral, 2008).

Quadro 2.3 – Exemplos de sistemas de ventilação mecânica (adaptado de Amaral, 2008)

Estratégias	Descrição
Infiltração mecânica	Admissão de ar através de rede de condutas e ventiladores e exaustão de ar através de frinchas, aberturas ou grelhas existentes na envolvente ou condutas de ventilação natural. Permite pré-aquecimento e filtragem do ar de insuflação.
Extração mecânica localizada e individual	Admissão de ar através de frinchas, aberturas ou grelhas existentes na envolvente e extração de ar através de ventiladores independentes em compartimentos de serviço. A extração é descontínua, na maior parte das vezes, e individualizada para cada habitação.
Ventilação mecânica e centralizada: VMC (Figura 2.4) ou fluxo simples	Admissão de ar através de frinchas, aberturas ou grelhas existentes na envolvente e extração de ar através de ventiladores em compartimentos de serviço. A extração é contínua, na maior parte das vezes, e comum para todo o edifício (centralizada e controlada num único ponto).
Ventilação mecânica de duplo fluxo (sistemas equilibrados)	Admissão e extração de ar através de rede de condutas e ventiladores. O sistema é frequentemente controlado num único ponto e permite a utilização de filtros de ar e permutadores de calor.

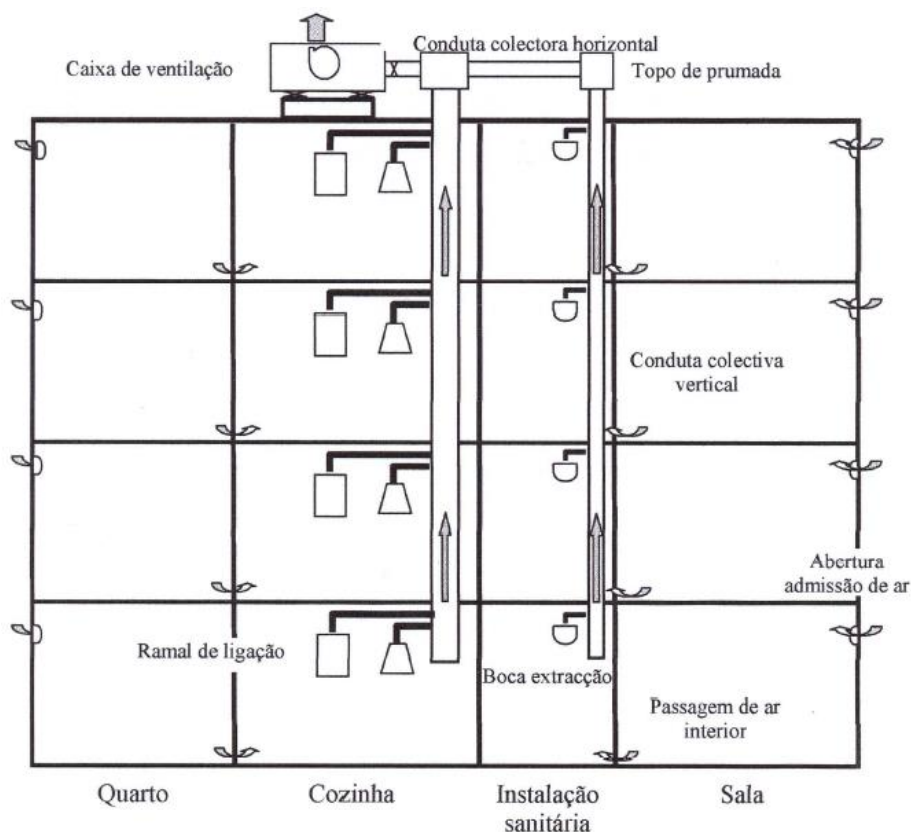


Figura 2.4 – Exemplo de um sistema de ventilação VMC com admissão de ar na fachada
(adaptado de Pinto, 2006; Amaral, 2008)

A ventilação mecânica pode ainda ser dividida em três subsistemas: insuflação mecânica, extração mecânica e sistema balanceado (Concannon, 2002).

- Insuflação mecânica – O ar é admitido no edifício através de um ventilador de insuflação, provocando a pressurização da habitação, criando uma pressão positiva e extraído através de aberturas existentes na envolvente.
- Extração mecânica – O ar é extraído do edifício criando uma pressão negativa e condicionando a entrada de ar novo através de aberturas existentes na envolvente ou de elementos permeáveis.
- Sistema balanceado – Conjugação dos dois subsistemas anteriores, equipando o edifício com ventiladores de admissão e de extração.

2.1.2.4. Ventilação mista

A ventilação mista é a que combina os sistemas de ventilação natural com os sistemas de ventilação mecânica, sendo o tipo de ventilação mais presente em Portugal. A entrada de ar novo é feita de forma natural através de aberturas existentes na envolvente ou de elementos permeáveis dos compartimentos principais (quartos e salas), é também natural a extração nas instalações sanitárias e mecânica, individual e normalmente descontínua ou de velocidade variável nas cozinhas, garantindo assim a passagem do ar pelos diferentes compartimentos.

Os sistemas de ventilação mista são baseados no princípio da ventilação geral e permanente das habitações e constituem soluções de grande interesse na reabilitação de edifícios (Freitas, 2012).

2.1.3. LEGISLAÇÃO E NORMALIZAÇÃO EXISTENTES EM PORTUGAL

Como já foi referido, a ventilação das habitações deve assegurar a saúde e o conforto dos ocupantes, a qualidade do ar e a eficiência energética (Figura 2.5). Sistemas de ventilação que garantam os caudais necessários e suficientes devem ser exigidos, pressupondo a conceção e o dimensionamento de dispositivos adequados (Freitas, 2012).

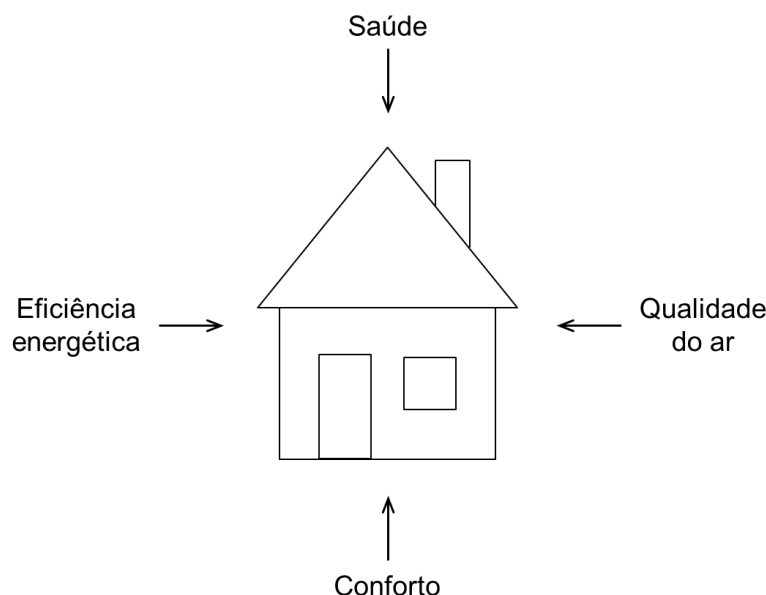


Figura 2.5 – Condicionantes da ventilação (adaptado de Freitas, 2012)

Em Portugal, a regulamentação sobre ventilação ainda está pouco desenvolvida, incluindo apenas algumas orientações.

A legislação, normalização e recomendações mais relevantes, por ordem cronológica, são mencionadas e brevemente descritas nos parágrafos seguintes.

O primeiro regulamento a referir a ventilação dos edifícios é datado de 1951, Decreto-Lei 38 382 de 7 de agosto, que constitui o Regulamento Geral das Edificações Urbanas (RGEU). Contém indicações importantes, só que insuficientes no ponto de vista dos valores quantitativos a aplicar. A evolução do conhecimento e das tecnologias desde a sua entrada em vigor faz com que se encontre ultrapassado face à realidade atual (Amaral, 2008; Finteiro, 1998; RGEU, 1951).

As Recomendações Técnicas para Habitação Social (RTHS), correspondendo ao Despacho 41/MES/85 de 14 de fevereiro de 1985, também têm algumas referências à ventilação dos espaços.

O Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE), aprovado pelo Decreto-Lei n.º 40/90 de 6 de fevereiro de 1990, compôs a primeira ferramenta portuguesa legal que obrigou os projetos de novos edifícios e de grandes remodelações a cumprir requisitos que garantiam a satisfação das condições de conforto térmico sem necessidades excessivas de energia, quer no inverno quer no verão. O objetivo era a minimização de efeitos patológicos na construção derivados das condensações superficiais e das condensações no interior dos elementos da envolvente. Com o tempo, verificou-se que o RCCTE constituiu um marco considerável

na melhoria da qualidade da construção em Portugal, traduzindo-se na aplicação generalizada de isolamento térmico nos edifícios, mesmo em climas mais amenos. Alguns pressupostos foram-se alterando, datando a sua última atualização de 4 de abril de 2006, através do Decreto-Lei n.º 80/2006 (RCCTE, 2006).

Em janeiro de 1995 é publicado pelo LNEC o documento técnico “Ventilação natural de edifícios de habitação”, da autoria de João Carlos Viegas, onde se indicam as medidas que devem ser adotadas para a ventilação dos compartimentos de edifícios de habitação (Viegas, 1995; Finteiro, 1998).

O Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (RSECE) foi aprovado a 7 de maio de 1998 pelo Decreto-Lei n.º 118/98. Veio substituir o Decreto-Lei n.º 156/92, que pretendia regulamentar a instalação de sistemas de climatização em edifícios, mas não chegou a ser validado. O RSECE teve a sua última atualização a 4 de abril de 2006, através do Decreto-Lei n.º 79/2006. Define as regras para o dimensionamento e instalação dos sistemas energéticos de climatização num edifício, introduz medidas de racionalização com o intuito de evitar o seu sobredimensionamento e, desta forma, contribuir para a sua eficiência energética. Este regulamento obriga a realização de auditorias energéticas periódicas aos edifícios de serviços, abrangendo não só os aspetos relacionados com a envolvente e a limitação dos consumos energéticos, mas também a eficiência e manutenção dos sistemas de climatização do edifício. Aborda ainda a qualidade do ar interior impondo requisitos sobre os caudais mínimos do ar interior por tipo de atividade e as concentrações máximas dos principais poluentes (RSECE, 2006).

Entretanto, foi criada a primeira norma portuguesa sobre ventilação: NP 1037-1 “Ventilação e evacuação dos produtos da combustão dos locais com aparelhos a gás. Parte 1: Edifícios de habitação. Ventilação natural.”. Datada de 2002, descreve as especificações técnicas a que devem obedecer os sistemas de ventilação natural dos edifícios de habitação. Na altura em que entrou em vigor, o RCCTE obrigava ao cumprimento de um projeto de ventilação em edifícios residenciais quando se adotasse uma renovação horária mínima de $0,6 \text{ h}^{-1}$ (Amaral, 2008; NP 1037-1, 2002).

O RCCTE foi substituído em 20 de agosto de 2013 pelo Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH) e pelo Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços (RECS), aprovados pelo Decreto-Lei n.º 118/2013. Este homologa ainda o Sistema de Certificação Energética dos Edifícios (SCE) e transpõe a Diretiva n.º 2010/31/UE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 19 de maio de 2010, relativa ao desempenho energético dos edifícios.

A nova regulamentação defende que os edifícios novos de habitação devem ser avaliados e cumprir certos requisitos com o objetivo de obter o conforto ambiente desejado, prevenir patologias, melhorar o seu comportamento térmico e reduzir as necessidades energéticas. Aponta como aspetos a ter em conta a ventilação e o ambiente onde se insere o edifício, as características da envolvente opaca e envidraçada e as necessidades nominais anuais de energia para aquecimento e arrefecimento. No que à ventilação dos espaços diz respeito, o REH impõe um valor mínimo de cálculo, para a estação de arrefecimento, para a taxa de renovação do ar de $0,4 \text{ h}^{-1}$.

Os edifícios têm de ser ventilados para que as condições de higiene e conforto do ar interior sejam garantidas. A ventilação pode ser feita por via natural, tratando-se da situação mais comum em edifícios residenciais, ou por via mecânica, ou por combinação das duas vias. Os caudais de ventilação são uma fonte de troca de calor entre o ambiente interior e exterior e, consequentemente, um acréscimo ao consumo de energia, uma vez que se pretendem manter as condições interiores nos níveis de conforto programados, devendo, por isso, serem reduzidos ao mínimo possível (Rodrigues, 2014a).

Os valores mínimos de caudal de ar novo por espaço, em função da ocupação, das características do próprio edifício e dos seus sistemas de climatização, assim como também os limiares para as concentrações de poluentes do ar interior são estabelecidos por portaria de forma a assegurar as condições de bem-estar e saúde dos ocupantes, no que diz respeito à ventilação e à qualidade do ar interior, conforme o artigo 36.º. Tendo em conta o Decreto-Lei n.º 118/2013, é de salientar que se privilegia a ventilação natural ao invés dos equipamentos de ventilação mecânica, numa perspetiva de eficiência energética, otimização de recursos e redução de custos (DL n.º 118, 2013).

Para a verificação do requisito mínimo de ventilação, contextualizado no REH, o LNEC tem disponível uma ferramenta que permite avaliar o desempenho dos sistemas de ventilação. Através dum conjunto de dados de entrada, consegue-se obter as taxas de renovação de ar da fração para a estação de aquecimento/arrefecimento e para o edifício de referência. Esta aplicação tipo folha de cálculo foi desenvolvida tendo por base o método de cálculo definido na Portaria n.º 349-B/2013 e nos Despachos n.º 15793-E/2013, n.º 15793-I/2013 e n.º 15793-K/2013 e funciona no ambiente *Microsoft Excel 2010* e *Microsoft Excel 2013* (Rodrigues, 2014b).

2.2. TÉCNICAS EXPERIMENTAIS

2.2.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Neste subcapítulo descreve-se um método de medição usado para se determinarem os fluxos de ar devidos aos sistemas de ventilação: o Método do Gás Traçador (Awbi, 2003).

Tendo em conta que este método foi o utilizado nos ensaios realizados neste trabalho, faz-se uma apresentação extensa desta metodologia, caracterizando os gases traçadores e descrevendo algumas técnicas, detalhando a usada, a Técnica do Declive.

2.2.2. MÉTODO DO GÁS TRAÇADOR

2.2.2.1. Definição do método

O objetivo deste método é “marcar” o ar que se pretende estudar com algo identificável, de maneira a que no decorrer do ensaio se consiga “seguir” e, desta forma, registar a história da sua evolução.

Na realização de cada ensaio, a implementação deste método inicia-se com a introdução, no compartimento que está a ser analisado, de uma determinada quantidade de gás pouco comum na atmosfera, ou seja, dum gás traçador. Finalizada a injeção deste gás e após um período de espera para o gás se espalhar e uniformizar dentro do espaço, regista-se a evolução da sua concentração ao longo do tempo.

As medições através deste método podem ser realizadas em edifícios ocupados, uma vez que o gás para as quantidades injetadas não tem qualquer consequência na saúde dos ocupantes. Todavia, deve ser tido em consideração o efeito que a ocupação pode ter nas trocas de ar no edifício, como por exemplo, a consequência do abrir e fechar de portas e janelas. No entanto, a incorporação desse efeito nas medições poderá ser desejável caso se pretenda conhecer a taxa de renovação de ar dum edifício em condições normais de funcionamento.

No caso de edifícios com ventilação natural, este é o único método ao qual se pode recorrer para medir a distribuição dos fluxos pelos seus vários espaços (Amaral, 2008).

O uso das diversas técnicas do gás traçador permite efetuar vários tipos de medições quantitativas da ventilação: medidas da infiltração e da renovação do ar, eficiência na extração de fumos e gases em chaminés e propagação de poluentes (Finteiro, 1998). Porém, durante a sua utilização têm que se verificar determinadas condições para garantir confiança nos resultados, nomeadamente, o requisito de concentração homogénea ou uniforme do gás traçador num determinado espaço (Roulet *et al*, 1991).

Há diferentes técnicas de implementação do Método do Gás Traçador, dependendo a sua escolha do objetivo da medição, do tipo de controlo e emissão (Afonso, 1989; Stymne *et al*, 2002; Roulet *et al*, 1991). Dependendo do objetivo da medição, utilizam-se técnicas transientes ou permanentes/estacionárias. As técnicas transientes, em função do modo como o gás traçador é injetado, permitem variações da concentração do gás ao longo do tempo, tendo como finalidade a determinação da constante de tempo nominal τ_n ou a renovação horária (RPH [h^{-1}]). Nas técnicas permanentes/estacionárias mantém-se aproximadamente constante a concentração do gás para se estimarem diretamente os fluxos de ar (Roulet *et al*, 1991). Ambas podem ser usadas na determinação dos caudais. A constante de tempo nominal e as renovações horárias relacionam-se através de (Amaral, 2008):

$$\tau_n = 1/RPH \quad (2.1.)$$

Segundo Claude Alain Roulet e Luk Vandaele, a constante de tempo nominal é a idade média do ar nos pontos de extração do sistema de ventilação:

$$q \tau_n = V \quad (2.2.)$$

q : caudal de ar exterior [m^3/s]

τ_n : constante de tempo nominal [s]

V : volume efetivo do espaço [m^3]

A renovação horária é a razão entre o caudal volúmico de ar exterior que entra/sai do espaço pelo volume efetivo do espaço:

$$RPH = q/V \quad (2.3.)$$

RPH : renovação horária [h^{-1}]

q : caudal de ar exterior [m^3/s]

V : volume efetivo do espaço [m^3]

Uma renovação por hora significa que o volume total de ar que atravessa um espaço fechado numa hora é igual ao volume desse espaço (Amaral, 2008).

2.2.2.2. Gases traçadores

Um gás traçador ideal deve acompanhar o movimento do ar, o que acontece quando ambos têm a mesma densidade. O tipo de traçadores utilizados nas medições da ventilação são gases não presentes no ar ambiente. Idealmente, o gás traçador deve possuir as seguintes características (Roulet *et al*, 1991; Etheridge *et al*, 1996; Laporte *et al*, 2001; ISO/DIS 16000-8, 2006; Amaral, 2008):

- inodoro, insípido e incolor;
- não inflamável e não explosivo;
- ser de aquisição relativamente acessível;
- não possuir riscos para a saúde;

- permitir uma boa mistura com o ar;
- não reagir com os elementos que o envolvem, como ser adsorvido no espaço de estudo, entrar em decomposição ou reagir com o algum componente do edifício;
- ambientalmente inerte.

Nenhum gás satisfaz globalmente todos os requisitos desejáveis. A escolha do gás a utilizar é consequência de várias reflexões e ponderações, sendo, teoricamente, indistinto o uso de qualquer um deles (Afonso, 1986). No Quadro 2.4 comparam-se as características dos gases mais frequentemente usados. Nos trabalhos experimentais realizados, usou-se o hexafluoreto de enxofre (SF_6), cujas propriedades se apresentam no Quadro 2.5.

Quadro 2.4 – Análise comparativa de alguns gases (adaptado de Roulet *et al*, 1991; Amaral, 2008)

Nome	Características do gás							
	Não inflamável Não explosivo	Não tóxico	Densidade próxima do ar	Não é adsorvido nem reage	Fácil de analisar	Baixa concentração exterior	Sem fontes no espaço a medir	Não dispendioso
Hexafluoreto de enxofre (SF_6)	(a)	+	-	+	++	++	++	+
Perfluorocarbono (PFTs)	++	++	--	++	+	++	++	++
Dióxido de carbono (CO_2)	++	-	+	-	++	--	--	++
Óxido nítrico ou Protóxido de azoto (N_2O)	(b)	-	+	-	+	+	+	++

Notas:

- Nível de qualidade: ++ Muito bom; + Bom; - Não tão; -- Muito mau;
- a: Não é combustível, mas decompõem-se em chama produzindo químicos tóxicos;
- b: Não é combustível, mas é um bom oxidante a altas concentrações e temperatura.

Conforme a ASTM, é recomendado o uso de uma concentração máxima de um décimo do limite de exposição permitido (ASTM E 741-00, 2000). Por outro lado, também é aconselhável a utilização de uma concentração mínima de 100 vezes a concentração mínima detetável, de maneira a que o equipamento tenha capacidade de resposta linear (Roulet *et al*, 1991; Innova, 1997).

Quadro 2.5 – Propriedades do hexafluoreto de enxofre (SF₆) (adaptado de Amaral, 2008)

Nome	Fórmula química	Peso molecular [g/mol]	Densidade / Densidade do ar	Concentração exterior [ppm]	Limite mínimo de deteção [ppm]	Limite de exposição permitido ^(a) [ppm]
Hexafluoreto de enxofre	SF ₆	146	5,10	0,85-1,5x10 ⁻⁶	0,005 ^(b)	1000

Notas:

- a: concentração máxima média permitida nos locais de trabalho (8 horas de exposição);
- b: com detetor fotocacústico.

2.2.2.3. Técnicas do Método do Gás Traçador

Consoante o tipo de controlo e emissão, podem utilizar-se diferentes técnicas do Método do Gás Traçador (Awbi 2003; Afonso, 1986; Afonso, 1989; Sherman, 1989; Dietz *et al*, 1982; Stymne *et al*, 1991; Stymne *et al*, 2002; Roulet *et al*, 1991; Etheridge *et al*, 1996; Amaral, 2008; ASTM E 741-00, 2000; ISO 12569, 2012; NORDTEST, 1994; NORDTEST, 1997):

- Técnica do Declive – Depois de estabelecida uma concentração inicial uniforme numa quantidade do gás traçador previamente injetado, recorrendo, por exemplo, a ventiladores, o decaimento da concentração do gás ao longo do tempo é registado de forma a permitir o cálculo da renovação horária (*RPH*). É também conhecida pela Técnica da Concentração Decrescente, sendo uma técnica transiente. Embora tendo a desvantagem da duração do ensaio ser pequena, o que faz com que a taxa de renovação de ar resultante seja característica apenas daquele intervalo de tempo, é a mais utilizada.
- Técnica da Fonte – Introduce-se o gás a uma taxa constante e regista-se a variação da concentração ao longo do tempo. Só é aplicada enquanto a concentração do gás aumentar. É também conhecida pela Técnica da Concentração Crescente, sendo uma técnica transiente. Fornece a mesma informação da Técnica do Declive, sendo esta preferível, uma vez que não precisa do valor da massa do gás injetado.
- Técnica da Concentração Constante – Regista-se a variação da taxa de libertação de gás, após se ter obtido uma concentração constante ao longo do tempo no espaço em que o gás foi injetado sob controlo. É uma técnica estacionária, sendo usada para medições prolongadas. Para se conseguir manter a concentração do gás constante, tem de se controlar a taxa de injeção de gás e isso requer equipamento específico, o que dificulta a sua implementação.
- Técnica da Emissão Constante – Introduce-se, tal como na Técnica da Fonte, o gás a uma taxa constante, mas só se efetua a medição após se alcançar uma concentração de gás aproximadamente constante. É uma técnica estacionária, sendo usada para medições prolongadas.

- Técnica da Emissão Constante com Emissão e Recolha Passiva – Corresponde a uma variante da Técnica da Emissão Constante. O gás traçador é emitido através de cápsulas emissoras que contêm o gás na fase líquida, numa forma contínua e passiva, isto é, necessitando de um reduzido sistema experimental, para recolha de dados, não provocando perturbações significativas nos edifícios ocupados, podendo, assim, prolongar-se no tempo. Consiste na emissão constante de gás e mede a média temporal da concentração. Após a difusão molecular do gás, na zona ou no edifício, a recolha realiza-se também de forma passiva por difusão capilar, através de cápsulas recetoras contendo um adsorvente. É ainda conhecida por Técnica PFT, devido ao *Perfluorocarbon Tracer*, gás frequentemente empregue. Foi criada nos Estados Unidos da América, no século passado, e posteriormente difundiu-se para a Europa.
- Técnica da Emissão Pulsada – Injeta-se uma pequena quantidade de gás e regista-se a evolução da concentração do gás ao longo do tempo. É também conhecida pela Técnica do Pulso, sendo uma técnica transiente. Não deve ser utilizada no cálculo de renovações de ar elevadas, pois a quantidade de gás aplicada é pequena.

Nos trabalhos experimentais realizados, utilizou-se a Técnica do Declive, sendo por isso detalhadamente apresentada no § 2.2.2.4.

2.2.2.4. Técnica do Declive

Um dos princípios do Método do Gás Traçador e, em particular, da Técnica do Declive, é a conservação da massa do ar e do próprio gás traçador. Para se poder usar a Técnica do Declive, é necessário admitir que (Roulet *et al*, 1989; Roulet *et al*, 1991):

- a temperatura e a densidade do ar permanecem constantes mesmo após a emissão do gás;
- a pressão atmosférica é constante e homogénea;
- a concentração do gás é homogénea na zona a analisar, não sofrendo alterações com a entrada de ar na zona em estudo, assumindo-se uma perfeita e imediata mistura.

O balanço de massa do gás traçador, para uma certa zona, supondo o regime permanente (pequenas variações da temperatura exterior e do vento e caudais aproximadamente constantes), a concentração nula do gás traçador no exterior e a não emissão nem adsorção de gás, pode ser expresso pela seguinte equação diferencial (Afonso, 1986):

$$V \frac{dc(t)}{dt} = -qc(t) \quad (2.4.)$$

V : volume efetivo do espaço [m^3]

c : concentração em volume do gás traçador [-]

q : caudal de ar exterior [m^3/s]

A solução da equação anterior é:

$$c(t) = c_0 e^{-\frac{q}{V}t} \quad (2.5.)$$

c_0 : concentração inicial em volume do gás traçador [-]

Ora, como

$$c(t) = c_0 e^{-\frac{q}{V}t} \Leftrightarrow \frac{c(t)}{c_0} = e^{-\frac{q}{V}t} \Leftrightarrow \ln\left(\frac{c(t)}{c_0}\right) = -\frac{q}{V}t \Leftrightarrow \ln\left(\frac{c_0}{c(t)}\right) = \frac{q}{V}t \Leftrightarrow \ln\left(\frac{c_0}{c(t)}\right)/t = \frac{q}{V} \quad (2.6.)$$

e, sabendo que

$$\frac{q}{V} = RPH \quad (2.7.)$$

tem-se

$$RPH = \ln\left(\frac{c_0}{c(t)}\right)/t \quad (2.8.)$$

Se, finalmente, se obtiver uma equação equivalente a (2.8) na forma

$$RPH = \ln\left(\frac{c_0}{c(t)}\right)/t \Leftrightarrow \ln(c(t)) = -RPHt + \ln(c_0) \quad (2.9.)$$

conclui-se que a variação do logaritmo neperiano da concentração, em função do tempo, é linear e o declive da reta, representação gráfica dessa variação, é o simétrico do número de renovações horárias. Os gráficos da Figura 2.6 ilustram a descrição das funções que definem a concentração do gás e o logaritmo neperiano da concentração do gás em função do tempo.

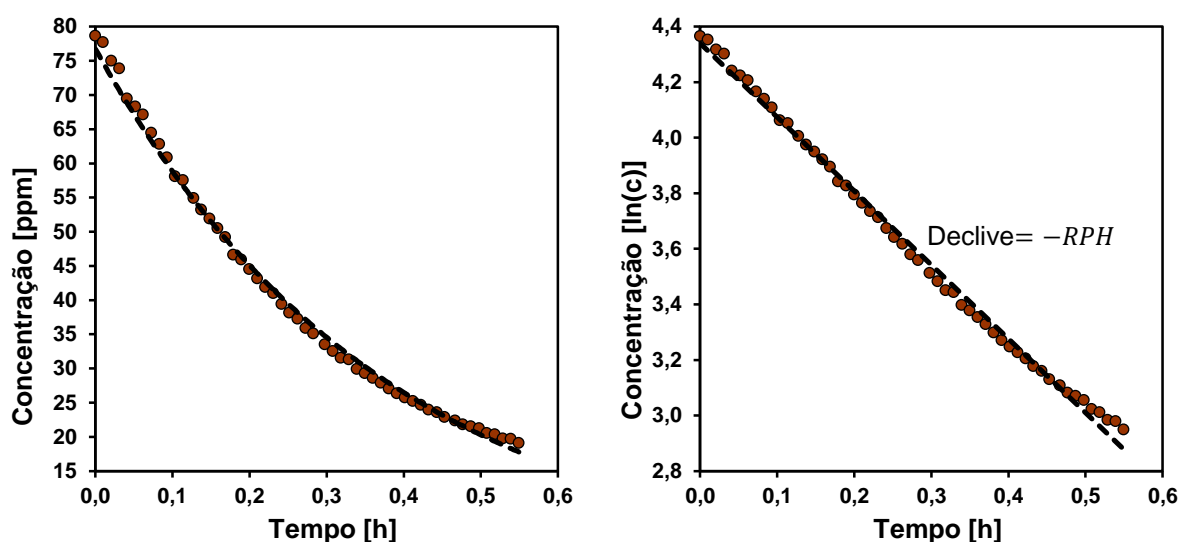


Figura 2.6 – Técnica do Declive: gráfico do decaimento da concentração do gás traçador e gráfico do logaritmo neperiano da concentração em função do tempo

De acordo com as normas (ASTM E 741-00, 2000; ISO 12569, 2012; NORDTEST, 1982) e literatura existente (Roulet *et al*, 1991; Etheridge *et al*, 1996; Maldonado *et al*, 1983), deverão ter-se alguns cuidados na aplicação desta técnica (Amaral, 2008):

- utilizar um ventilador rotativo a baixa velocidade, posicionado a jusante da sonda de emissão de gás e direcionado para o centro do compartimento (em espaços maiores recorrer a mais do que um ventilador);
- fixar eventualmente a emissão de gás ao ventilador rotativo;
- esperar 2 a 3 minutos (tempo estimado para se obter uma concentração uniforme), após a emissão do gás e com o ventilador a funcionar, até se iniciarem os registos;
- localizar a recolha a meia altura do espaço e afastada da emissão e de janelas.

Para criar as condições adequadas à obtenção de resultados mais fiáveis e com o menor número de imprecisões, deve-se procurar uma concentração uniforme do gás através da utilização de ventiladores, como na Figura 2.7 se apresenta esquematicamente.

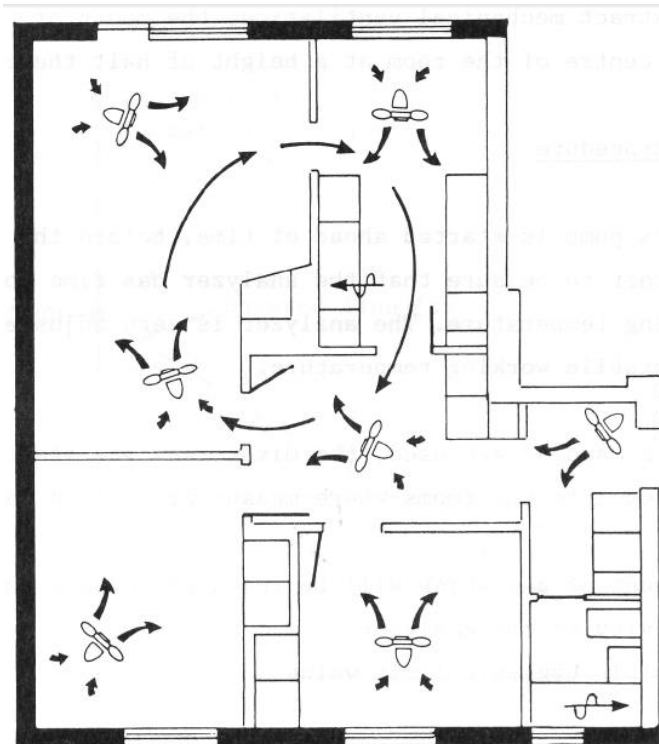


Figura 2.7 – Exemplo do posicionamento dos ventiladores (adaptado de Maldonado *et al*, 1983)

No momento da recolha de dados, o intervalo entre medições deve ser menor que 2 min (Roulet *et al*, 1991) e deverão registar-se no mínimo cinco valores (ASTM E 741-00, 2000). Esta técnica pode ser aplicada em edifícios com uma renovação horária até 10 h^{-1} (ISO/DIS 16000-8, 2006).

A determinação da evolução da concentração de um gás num espaço é feita através dum dispositivo de medição cujo sistema funciona baseado no princípio da espectroscopia fotoacústica de radiação infravermelha. Este método consiste em (Innova, 1997):

- recolher uma amostra de ar;
- reter essa amostra numa câmara fechada;
- iluminar a câmara por um feixe de radiação infravermelha pulsada que passou através de um filtro ótico numa banda estreita do espectro;
- pela irradiação, aumentar a amplitude das flutuações de pressão no interior da câmara, que corresponde a aumentar a concentração do componente, o que significa que as moléculas do componente analisado absorvem energia que faz aumentar a agitação molecular e a respetiva temperatura;
- medir com o auxílio de dois microfones de alta exatidão, localizados em paredes opostas na câmara, as flutuações de pressão provocadas pelas oscilações de temperatura.

Tendo em conta que este método é de elevada sensibilidade, é possível obter a concentração de gases com um nível muito bom de fiabilidade.

No Quadro 2.6, evidencia-se, sumariamente, o tipo de emissão e de recolha, o resultado direto que se obtém, o género de medições e a ordem de grandeza do custo da Técnica do Declive.

Quadro 2.6 – Técnica do Declive (adaptado de Roulet *et al*, 1991; Etheridge *et al*, 1996)

Técnica	Emissão	Recolha	Resultado direto	Medições contínuas	Custo
Declive	Pequena emissão (antes do ensaio)	Contínua	RPH ou τ_n	Não	Moderado

3

AVALIAÇÃO EXPERIMENTAL

3.1. OBJETIVOS E METODOLOGIA

Definiu-se como objetivo principal deste trabalho a determinação dos caudais de ventilação em vários compartimentos de quatro edifícios de habitação, construídos em quatro décadas diferentes. Para tal, foi necessário estabelecer algumas condições no interior das habitações que permitissem a análise e comparação entre os resultados e, consequentemente, estabelecer comparações entre o desempenho dos edifícios.

A avaliação experimental seguiu o Método do Gás Traçador e adotou a Técnica do Declive, realizando-se assim um conjunto de ensaios previamente planeados nos casos de estudo e que são seguidamente apresentados. A temperatura e a humidade relativa foram outros parâmetros registados, durante os ensaios, em cada compartimento e também no exterior do edifício. Foram, ainda, medidas algumas velocidades do vento, nas direções perpendicular e paralela à fachada, com o intuito de se saber se o vento se encontrava em situações extremas ou comuns e, assim, avaliar se seria possível proceder-se à realização dos ensaios ou se iria influenciar de forma significativa os resultados obtidos.

3.2. CASOS DE ESTUDO

3.2.1. RUA GODINHO DE FARIA – GF

3.2.1.1. Enquadramento

A habitação mais antiga localiza-se em São Mamede de Infesta, no concelho de Matosinhos, na Rua Godinho de Faria. Pode considerar-se um edifício típico da década de 80, pensa-se que tenha 35 anos, sendo assim, terá sido construído por volta de 1979. Foi avaliado um apartamento do tipo T2, com um volume aproximado de 200m³, habitado diariamente, com duas frentes, os quartos voltados a poente e a cozinha e a sala orientadas a nascente.

3.2.1.3. Descrição do sistema de ventilação

Na cozinha existe um sistema de ventilação mecânico acionável, não tendo horário pré-definido de extração. Na instalação sanitária a ventilação é natural, há apenas uma grelha fixa com duas posições: aberta ou fechada, mostrando-se na Figura 3.3 essa grelha aberta. Não tem qualquer outro tipo de grelhas de ventilação interiores ou exteriores.



Figura 3.3 – Grelha das instalações sanitárias na posição aberta

Deste modo, o ar é extraído através da extração natural/mecânica da cozinha e de uma grelha existente na instalação sanitária. No que se refere à admissão do ar exterior, uma vez que não existem equipamentos específicos para esse fim, este é essencialmente proveniente das frinchas e das caixilharias das janelas que não são muito estanques (infiltração).

3.2.2. AVENIDA DO CONDE – AC

3.2.2.1. Enquadramento

Situado também em São Mamede de Infesta, no concelho de Matosinhos, na Avenida do Conde, trata-se dum edifício da década de 90.

A Figura 3.4 localiza o edifício de habitação onde se realizaram os ensaios.



Figura 3.4 – Vista aérea da Avenida do Conde

Foi estudada uma fração do 5º piso, duplex recuado, com uma tipologia T4, tendo o piso de baixo do duplex um volume aproximado de 275m^3 , habitado diariamente, com duas fachadas, uma voltada a sul e a outra a nordeste.

3.2.2.2. Caracterização construtiva



Figura 3.5 – Habitação em estudo e entrada do edifício na Avenida do Conde

A Figura 3.5 mostra o edifício de habitação em estudo, na fotografia da esquerda consegue-se ter uma perceção do tipo de edifício, sendo a delimitação meramente simbólica, uma vez que a habitação é recuada e não é visível da rua e na da direita pode-se ver a entrada principal.

São perceptíveis características da construção dos anos 90, as janelas são de correr com caixilharia de alumínio e os sistemas de oclusão de janelas são os estores exteriores e as portadas. As portas interiores têm uma folga inferior com altura de aproximadamente 1cm e não as estipuladas pela norma. Esta habitação tem a particularidade de já ter aquecimento central, para além do fogão de sala, como se verifica na Figura 3.6.



Figura 3.6 – Radiador pertencente ao aquecimento central e fogão de sala

3.2.2.3. Descrição do sistema de ventilação

O sistema de ventilação existente na cozinha e nas instalações sanitárias é mecânico e acionável, não se tendo conseguido averiguar se existe um horário de funcionamento pré-definido. Na cozinha encontrava-se um exaustor comercial e nas instalações sanitárias, como se pode observar na Figura 3.7, existem extratores comuns com uma tecla de acionamento igual à da iluminação. Não existe qualquer tipo de grelhas de ventilação interiores.



Figura 3.7 – Grelha do extrator das instalações sanitárias e a sua tecla de acionamento

Desta forma, o ar é extraído através da ventilação mecânica da cozinha e das instalações sanitárias e o ar exterior é apenas proveniente das infiltrações.

3.2.3. AVENIDA DR. DOMINGOS GONÇALVES DE SÁ – DGS

3.2.3.1. Enquadramento

Localiza-se em Rio Tinto, no concelho de Gondomar, na Avenida Dr. Domingos Gonçalves de Sá, no Edifício Estrela d'Avenida, datado de junho de 2002.

A Figura 3.8 situa o edifício de habitação estudado.

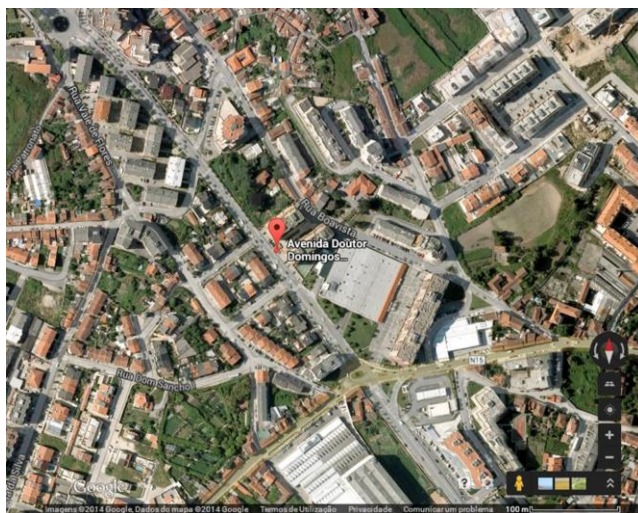


Figura 3.8 – Vista aérea da Avenida Dr. Domingos Gonçalves de Sá

Foi analisado o 8º andar com um terraço em toda a extensão da fachada noroeste, tendo mais duas fachadas: uma virada a nordeste e outra a sudeste. A habitação é de tipologia T3, com um volume aproximado de 350m³ e encontra-se desabitada (nunca tendo sido habitada).

3.2.3.2. Caracterização construtiva



Figura 3.9 – Habitação em estudo e entrada do Edifício Estrela d'Avenida

Na Figura 3.9 observa-se o edifício de habitação em estudo, a delimitação é meramente simbólica, uma vez que a habitação não é visível do ângulo do qual foi tirada a fotografia, e a entrada principal do conjunto de edifícios.

Estão presentes características da construção da época, as janelas são de correr com caixilharia de alumínio e o sistema de oclusão de janelas usado é o estore exterior elétrico. As portas interiores não têm as folgas estipuladas pela norma, mas têm uma folga inferior com altura de aproximadamente 1cm. Esta habitação apresenta mais algumas particularidades, tais como, a existência de aspiração e aquecimento central e ainda de fogão de sala, como se verifica na Figura 3.10.



Figura 3.10 – Tomadas da aspiração central, radiador pertencente ao aquecimento central e fogão de sala

3.2.3.3. Descrição do sistema de ventilação

Existe um sistema de extração mecânico e centralizado, na cozinha e nas instalações sanitárias, que apresenta um funcionamento contínuo. A cozinha tem um exaustor comercial e as instalações sanitárias têm extratores comuns, com a particularidade de terem uma velocidade de extração elevada como se pode comprovar pelos resultados da velocidade do ar e do caudal de ventilação. Existem umas grelhas de admissão de ar nas janelas na zona da lavandaria/arrumos, sendo feito o acesso à cozinha através dumas portas de correr, envidraçadas e com caixilharia de alumínio que normalmente estão fechadas. Sendo assim, não seria de esperar que a sua influência seja muita, no entanto detetaram-se algumas frinchas bastante pronunciadas nestas portas, o que poderá provocar uma admissão de ar significativa. É possível observar todos estes pormenores na Figura 3.11. Não existem grelhas de ventilação interiores.



Figura 3.11 – Grelhas de admissão de ar na lavandaria/arrumos e portas de acesso à cozinha

Por conseguinte, o ar é extraído através da ventilação mecânica da cozinha e das instalações sanitárias e é a partir das janelas e das grelhas de admissão de ar existentes nas janelas da lavandaria/arrumos que o ar exterior entra.

3.2.4. RUA DE NOSSA SRA. DE FÁTIMA – NSF

3.2.4.1. Enquadramento

A habitação mais recente localiza-se perto da Praça de Mouzinho de Albuquerque, mais conhecida pela Rotunda da Boavista, no concelho do Porto, na Rua de Nossa Sra. de Fátima, no Edifício Alpha, datado de julho de 2013. Foi avaliada uma fração do 3º piso, atualmente o andar modelo, que é um apartamento do tipo T2, com um volume aproximado de 175m^3 , com duas frentes, em que os quatros estão orientados a noroeste e a cozinha e a sala a sudeste.

A Figura 3.12 situa o edifício de habitação onde decorreram as medições.



Figura 3.12 – Vista aérea da Rua de Nossa Sra. de Fátima

3.2.4.2. Caracterização construtiva



Figura 3.13 – Habitação em estudo e entrada do edifício na Rua de Nossa Sra. de Fátima

Na Figura 3.13 mostra-se o edifício de habitação em estudo, com a habitação delimitada numa das fachadas, e a respetiva entrada principal.

O edifício apresenta características notórias da construção atual, as janelas são oscilo-batentes e de correr com uma caixilharia estanque, com vedante, e o sistema de oclusão de janelas utilizado é a portada. Embora, as portas interiores não tenham as folgas estipuladas pela norma, têm uma folga inferior com altura de aproximadamente 1,3cm. Esta habitação tem aquecimento central, como se verifica na Figura 3.14.



Figura 3.14 – Radiador pertencente ao aquecimento central

3.2.4.3. Descrição do sistema de ventilação

O sistema de ventilação inclui um equipamento de extração mecânico e centralizado intermitente na cozinha, que durante os ensaios se manteve sempre a funcionar, e contínuo nas instalações sanitárias. Contudo, aparentemente a ventilação nas instalações sanitárias provavelmente estaria desligada durante os ensaios, pois ao medir-se a velocidade do ar na conduta de extração obtiveram-se valores muito baixos. A cozinha tem um exaustor comercial e as instalações sanitárias têm extratores comuns. Existe uma grelha de extração nos arrumos, mas não existem nem grelhas de ventilação interiores nem grelhas de admissão de ar nos outros compartimentos.

Deste modo, o ar é extraído através da ventilação mecânica da cozinha, das instalações sanitárias e da grelha de extração existente nos arrumos. Em relação à admissão do ar exterior, este é apenas proveniente das infiltrações.

3.3. ENSAIOS

3.3.1. PROCEDIMENTO DE ENSAIO

O procedimento consiste na medição ao longo do tempo da concentração de um gás traçador, previamente introduzido no espaço (Almeida, 2011).

Na Figura 3.15 apresenta-se um resumo esquemático do ensaio. Os procedimentos estão regulamentados pelas normas ASTM E741-00 (2000) e ISO 12569 (2012), onde se encontra detalhadamente descrito (Almeida, 2011).

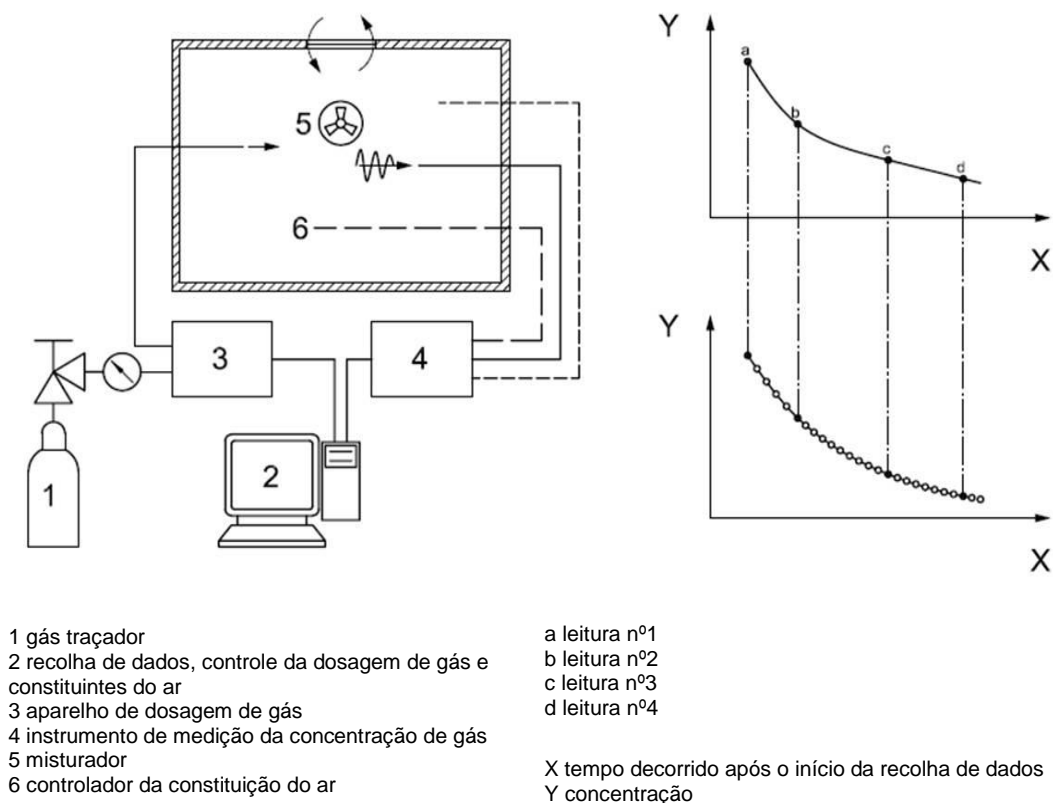


Figura 3.15 – Resumo esquemático do método de decaimento do gás traçador (adaptado de ISO 12569, 2012)

Para preparar o ensaio deve-se conhecer a temperatura exterior e interior e a direção e a velocidade do vento. Um gás (os gases traçadores mais utilizados para medições de taxa de ventilação são o óxido nítrico – N_2O e o hexafluoreto de enxofre – SF_6) é espalhado pelo interior do compartimento em estudo. O decaimento da concentração do gás traçador está diretamente relacionado com a taxa de ventilação. É importante que o gás traçador seja uniformemente distribuído em todo o espaço que vai ser ensaiado. A precisão depende do quão uniforme a concentração do gás traçador está no início do teste (NORDTEST, 1982). Esse gás deve ter algumas características, tais como: ser pouco comum na atmosfera, não ser um constituinte habitual do local que se está a estudar, ser fácil de medir, mesmo a baixas concentrações, não poder ser inflamável, explosivo, tóxico, nem dever ter qualquer risco para a saúde, não ser dispendioso e ser ambientalmente inerte (Almeida, 2011; Etheridge *et al*, 1996).

Nos ensaios realizados no âmbito desta dissertação, inicialmente, colocou-se um *data logger* HOBO U12 no exterior, de preferência num lugar abrigado onde, durante o dia, o sol não incidisse diretamente e, no caso de chover, não apanhasse água. No princípio de cada ensaio, colocou-se outro *data logger* HOBO U12 no interior do compartimento onde se fizeram as medições. A temperatura e a humidade relativa no exterior e no interior foram, assim, registadas com intervalos de 5min, posteriormente foram calculadas as médias e os desvios padrão destes parâmetros durante o período correspondente a cada ensaio.

Para iniciar o ensaio, estabelecem-se todas as ligações necessárias entre o equipamento de medição – analisador de gás fotoacústico da *Innova* com a referência 1312 –, a UPS e o computador portátil com o respetivo *software*. Fixa-se o tubo de recolha, preferencialmente a metade da altura

do compartimento e afastado da emissão e das janelas. Prepara-se a mistura do ar no compartimento a medir, dum canto e direcionado para o centro do compartimento, com o ventilador rotativo ligado, a rodar a baixa velocidade, à frente da garrafa, injeta-se durante 5-15seg, dependendo do volume do compartimento, o hexafluoreto de enxofre (SF_6). Aguardam-se alguns minutos, após a emissão do gás e ainda com o ventilador a funcionar, até se iniciar o ensaio para que a mistura uniformize e se consiga uma concentração estável.

É aconselhável que o intervalo entre as medições não exceda os 2min e seja feito um registo, no mínimo, de cinco valores (Amaral, 2008).

Com o equipamento Fluke 975 AirMeterTM mediram-se as velocidades do ar nas condutas de extração, nas grelhas da exaustão da cozinha e das instalações sanitárias, assim como também algumas velocidades do vento nas direções perpendicular e paralela à fachada.

Seguiu-se um plano de ensaio, previamente elaborado, com o número de medições a realizar, a sua sequência, os compartimentos escolhidos e com as condicionantes estabelecidas.

Nos quatro casos de estudo abordados elaboraram-se planos de ensaio que foram discutidos e refletidos antes da realização dos ensaios, que a seguir se apresentam descritos numa forma sucinta. Nos Anexos I, II, III e IV, pode-se analisar com mais detalhe os planos de ensaio elaborados, juntamente com alguns cuidados a ter no local e as respetivas plantas das habitações com os compartimentos onde se realizaram as medições devidamente assinalados.

- Plano de ensaio GF

1. Quarto
 - 1.1. porta aberta
 - 1.2. porta fechada
2. Instalação sanitária
 - 2.1. porta aberta
 - 2.2. porta fechada
3. Sala
 - 3.1. porta aberta
 - 3.2. porta fechada
4. Cozinha
 - 4.1. extração desligada
 - 4.1.1. porta aberta
 - 4.1.2. porta fechada
 - 4.2. extração ligada
 - 4.2.1. porta aberta
 - 4.2.2. porta fechada

É igualmente importante definir bem as condições fora do compartimento onde se estão a realizar as medições para que sejam sempre as mesmas. Em GF, definiu-se que as janelas se encontravam sempre fechadas, os estores exteriores totalmente abertos, as portas todas fechadas ou todas abertas, dependendo da situação do ensaio, exceto na instalação sanitária onde existe uma porta no interior que separa a zona do lavatório da restante, esta manteve-se sempre aberta e na cozinha em que permanece aberta a porta de acesso aos arrumos e fechada a porta de acesso à marquise. No caso do sistema de ventilação mecânico na cozinha permanecerá desligado quando não for acionado e a grelha fixa (aberta/fechada) de ventilação natural na instalação sanitária ficará aberta.

- Plano de ensaio AC

1. Quarto
 - 1.1. porta aberta
 - 1.2. porta fechada
2. Instalação sanitária
 - 2.1. extração ligada
 - 2.1.1. porta aberta
 - 2.1.2. porta fechada
 - 2.2. extração desligada
 - 2.2.1. porta aberta
 - 2.2.2. porta fechada
3. Sala
 - 3.1. porta aberta
 - 3.2. porta fechada
4. Cozinha
 - 4.1. extração desligada
 - 4.1.1. porta aberta
 - 4.1.2. porta fechada
 - 4.2. extração ligada
 - 4.2.1. porta aberta
 - 4.2.2. porta fechada

Não esquecendo a relevância que as condições, fora do compartimento onde se estão a realizar as medições, têm em serem sempre as mesmas, em AC, estipulou-se que as janelas se mantêm fechadas, os estores exteriores totalmente abertos, as portas todas fechadas ou todas abertas, dependendo da situação do ensaio, exceto na *suite* em que a porta, de acesso à instalação sanitária, existente dentro do quarto se mantém sempre aberta, assim como também uma das duas portas de comunicação à zona dos quartos no corredor e no quarto e na cozinha em que permanecem fechadas as portas/janelas de acesso à varanda fechada/marquise, no caso do sistema de ventilação mecânico na cozinha e nas instalações sanitárias permanecerá desligado quando não for acionado.

- Plano de ensaio DGS

1. Quarto
 - 1.1. porta aberta
 - 1.2. porta fechada
2. Instalação sanitária
 - 2.1. porta aberta
 - 2.2. porta fechada
3. Sala
 - 3.1. porta aberta
 - 3.2. porta fechada
4. Cozinha
 - 4.1. extração ligada, caudal mínimo
 - 4.1.1. porta aberta
 - 4.1.2. porta fechada

- 4.2. extração ligada, caudal máximo
 - 4.2.1. porta aberta
 - 4.2.2. porta fechada
- 5. Quarto/*Suite*
 - 5.1. porta aberta
 - 5.2. porta fechada

Como esta habitação tem um sistema de ventilação mecânico e centralizado contínuo, a extração na cozinha está sempre ligada, deste modo, as variações possíveis nas condicionantes deste compartimento no que diz respeito à extração são o caudal mínimo ou o caudal máximo que corresponde à gaveta que contém a grelha do exaustor fechada ou aberta, respetivamente.

É necessário ter em atenção de que fora do compartimento onde se estão a realizar as medições é conveniente que as condições sejam sempre as mesmas, por isso, em DGS, também estas são estipuladas: janelas fechadas, estores exteriores totalmente abertos, portas todas fechadas ou todas abertas, dependendo da situação do ensaio, exceto nas *suites* em que as portas de acesso às instalações sanitárias existentes dentro dos quartos se mantêm sempre abertas, assim como também uma das duas portas de comunicação à zona dos quartos no corredor e na cozinha em que permanecem fechadas as portas/janelas de acesso à lavandaria/arrumos, no caso do sistema de ventilação mecânico e centralizado na cozinha e nas instalações sanitárias permanecerá ligado, uma vez que é contínuo.

- Plano de ensaio NSF

- 1. Quarto
 - 1.1. porta aberta
 - 1.2. porta fechada
- 2. Instalação sanitária
 - 2.1. porta aberta
 - 2.2. porta fechada
- 3. Cozinha
 - 3.1. extração ligada, caudal mínimo
 - 3.1.1. porta aberta
 - 3.1.2. porta fechada
 - 3.2. extração ligada, caudal máximo
 - 3.2.1. porta aberta
 - 3.2.2. porta fechada
- 4. Sala
 - 4.1. porta aberta
 - 4.2. porta fechada

Assim como é preciso elaborar previamente um plano de ensaio, também é essencial programar as condições fora do compartimento onde se estão a realizar as medições para que sejam sempre as mesmas. Então, em NSF, definiu-se que as janelas e as portadas estão fechadas, as portas têm de estar todas fechadas ou todas abertas, dependendo da situação do ensaio, exceto nos arrumos em que se mantêm sempre a porta aberta e no caso do sistema de ventilação mecânico e centralizado na cozinha e nas instalações sanitárias permanecerá ligado, uma vez que é contínuo. Tendo em conta esta característica deste sistema, na cozinha, em relação à extração variou-se o caudal entre mínimo e máximo, o que se traduziu em manter fechada ou abrir, respetivamente, a gaveta que contém a grelha do exaustor.

Quadro 3.1 – Códigos dos ensaios

Caso de estudo	Compartimento	Condições fronteira	Código do ensaio
Rua Godinho de Faria (GF)	Quarto	porta aberta	GF1.1.
		porta fechada	GF1.2.
	Instalação sanitária	porta aberta	GF2.1.
		porta fechada	GF2.2.
	Sala	porta aberta	GF3.1.
		porta fechada	GF3.2.
	Cozinha	extração desligada porta aberta	GF4.1.1.
		extração desligada porta fechada	GF4.1.2.
		extração ligada porta aberta	GF4.2.1.
		extração ligada porta fechada	GF4.2.2.
Avenida do Conde (AC)	Quarto	porta aberta	AC1.1.
		porta fechada	AC1.2.
	Instalação sanitária	extração ligada porta aberta	AC2.1.1.
		extração ligada porta fechada	AC2.1.2.
		extração desligada porta aberta	AC2.2.1.
		extração desligada porta fechada	AC2.2.2.
	Sala	porta aberta	AC3.1.
		porta fechada	AC3.2.
	Cozinha	extração desligada porta aberta	AC4.1.1.
		extração desligada porta fechada	AC4.1.2.
		extração ligada porta aberta	AC4.2.1.
		extração ligada porta fechada	AC4.2.2.
Avenida Dr. Domingos Gonçalves de Sá (DGS)	Quarto	porta aberta	DGS1.1.
		porta fechada	DGS1.2.
	Instalação sanitária	porta aberta	DGS2.1.
		porta fechada	DGS2.2.
	Sala	porta aberta	DGS3.1.
		porta fechada	DGS3.2.

Caso de estudo	Compartimento	Condições fronteira	Código do ensaio
Avenida Dr. Domingos Gonçalves de Sá (DGS)	Cozinha	extração ligada, caudal mínimo porta aberta	DGS4.1.1.
		extração ligada, caudal mínimo porta fechada	DGS4.1.2.
		extração ligada, caudal máximo porta aberta	DGS4.2.1.
		extração ligada, caudal máximo porta fechada	DGS4.2.2.
	Quarto/ <i>Suite</i>	porta aberta	DGS5.1.
		porta fechada	DGS5.2.
	Quarto	porta aberta	NSF1.1.
		porta fechada	NSF1.2.
Rua de Nossa Sra. de Fátima (NSF)	Instalação sanitária	porta aberta	NSF2.1.
		porta fechada	NSF2.2.
	Cozinha	extração ligada, caudal mínimo porta aberta	NSF3.1.1.
		extração ligada, caudal mínimo porta fechada	NSF3.1.2.
		extração ligada, caudal máximo porta aberta	NSF3.2.1.
		extração ligada, caudal máximo porta fechada	NSF3.2.2.
	Sala	porta aberta	NSF4.1.
		porta fechada	NSF4.2.

3.3.2. EQUIPAMENTO UTILIZADO

O material necessário à realização dos ensaios foi variado, pois para além do principal ensaio, utilizando o Método do Gás Traçador e a Técnica do Declive, foi preciso fazer algumas medições no local e recolher o maior número de detalhes que parecessem significativos para posteriormente não faltarem dados:





- ✓ planos e fichas de ensaio;
- ✓ plantas;
- ✓ fita métrica e medidor de distâncias;
- ✓ bússola;
- ✓ máquina fotográfica;
- ✓ garrafa de 10Kg de SF₆;
- ✓ ventilador rotativo – ventoinha;

- ✓ tubo de recolha e respetivo suporte em madeira;
- ✓ aparelho de medição – analisador de gás fotoacústico da *Innova* com a referência 1312;
- ✓ computador portátil com o respetivo *software* – 1312 PC *Software*;
- ✓ UPS;
- ✓ extensão elétrica;
- ✓ Fluke 975 AirMeter™;
- ✓ um *data logger* HOBO U12 para o exterior e outro para o interior.

Foi consultada a meteorologia no Instituto Português do Mar e da Atmosfera (IPMA) e foram retirados registos da estação meteorológica do Laboratório de Física das Construções da FEUP para os dados climáticos exteriores apresentados, temperatura e humidade relativa, e para as condições atmosféricas mencionadas nas fichas de ensaio.

No Quadro 3.1 podem-se ver fotografias dos aparelhos portáteis utilizados, onde são descritos pormenorizadamente.

Quadro 3.2 – Equipamento utilizado nos ensaios

Nome	Fotografia	Descrição
analisador de gás fotoacústico da <i>Innova</i> refª. 1312		<ul style="list-style-type: none"> - sistema monitorizado de medição de gás baseado no método de deteção fotoacústica de infravermelhos - pós o monitor terminar uma medição, inicia de seguida a próxima, os ciclos de medição são contínuos e o tempo entre ciclos é constante definido pelo tempo necessário para a análise das amostras na célula de análise
ventilador rotativo		ventoinha de pé 16" de 50W modelo: JVP-401
Fluke 975 AirMeter™		<ul style="list-style-type: none"> - aerómetro com cinco sensores para diagnóstico da qualidade do ar - medidor de temperatura, ponto de orvalho, humidade relativa, velocidade do ar (precisão de 4%), entre outros
<i>data logger</i> HOBO U12		<ul style="list-style-type: none"> - medidor de temperatura (precisão de $\pm 0,35^{\circ}\text{C}$ e uma resolução de $0,03^{\circ}\text{C}$) e humidade relativa (precisão de $\pm 2,50\%$ e resolução de $0,03\%$) - responsável pelo armazenamento de dados

4

RESULTADOS

4.1. APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

4.1.1. RESULTADOS GLOBAIS

Os ensaios decorreram no mês de abril de 2014, tendo sido necessário um dia (das 9h às 20h) para cada caso de estudo. Tiveram uma duração variável entre 17 e 73min e seguiram os objetivos mencionados e a metodologia exposta no capítulo 3. No total foram realizados 44 ensaios.

Alguns parâmetros comuns foram medidos em todos os ensaios. Registaram-se a temperatura e a humidade relativa (escala de 0 a 1) no exterior das habitações e no interior de cada compartimento onde decorria o ensaio, assim como também, valores pontuais da velocidade do vento perpendicular e paralelo à fachada do edifício, tendo-se verificado que se encontravam dentro dos limites considerados como adequados e possíveis à realização do ensaio. Constatou-se que durante os dias de ensaio não se notou qualquer tipo de condições ambientais extremas. As diferenças das temperaturas exterior e interior, causadoras da ventilação pelo efeito chaminé, neste período, durante a estação de arrefecimento, poderá não ser representativo da ventilação. A Figura 4.1 mostra a flutuação destes parâmetros nos edifícios de habitação durante os quatro dias de ensaio.

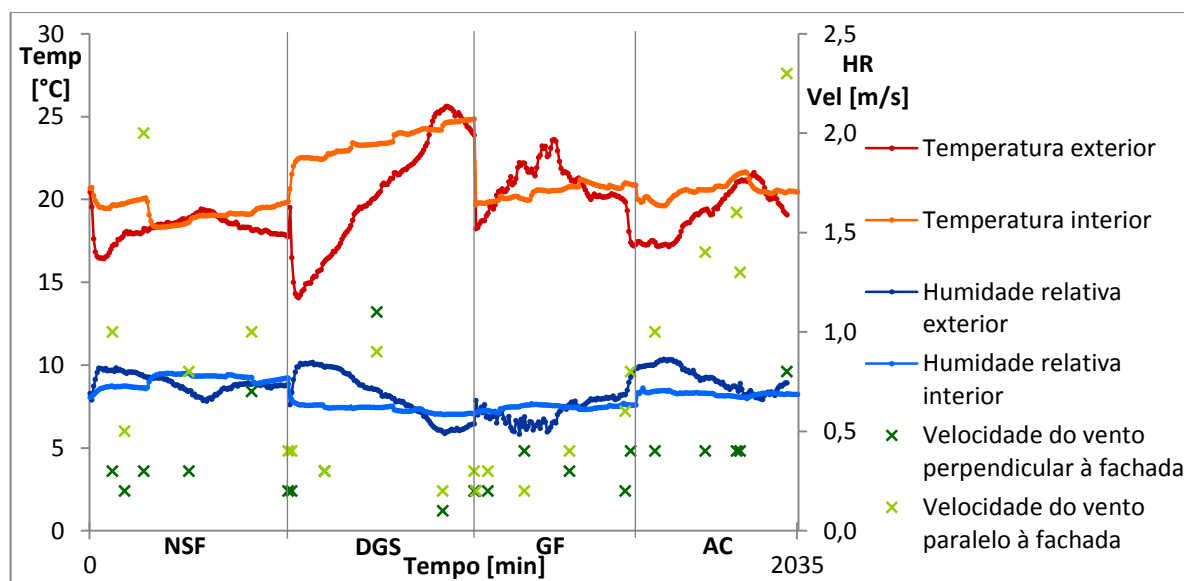


Figura 4.1 – Gráfico comum aos quatro casos de estudo de temperatura e de humidade relativa exterior e interior e de velocidade do vento perpendicular e paralelo à fachada durante os ensaios realizados



Posteriormente, calcularam-se as médias e os desvios padrão dos valores da temperatura e da humidade relativa exterior e interior, nos tempos de cada ensaio, e anotaram-se nas respetivas fichas. Também se encontram nessas fichas, que podem ser consultadas em anexo, as medições da velocidade do vento perpendicular e paralelo à fachada do edifício.

Nos compartimentos com extração que são, na maioria dos casos, as cozinhas e as instalações sanitárias, mediu-se a velocidade do ar diretamente nas saídas de ar, nomeadamente, nas grelhas da exaustão, e as dimensões da tubagem ou da grelha à qual se tinha acesso, com o intuito de se estimar o caudal de ventilação. As cozinhas estavam todas equipadas com exaustores comerciais com as medidas *standards* 0,14x0,50m e as instalações sanitárias com extratores comuns semelhantes e com as dimensões idênticas em que o diâmetro superior era de 9,5cm e o inferior de 6cm.

Em GF, na habitação mais antiga, apenas existia ventilação mecânica na cozinha e nas restantes havia extração tanto na cozinha como nas instalações sanitárias. Porém, no andar modelo de NSF, depreendeu-se que a ventilação mecânica nas instalações sanitárias estivesse desligada, visto não haver qualquer som provocado pela sucção do ar e, principalmente, as medições da velocidade do ar na conduta de extração terem resultados muito baixos.

O caso de estudo que tem o sistema de ventilação mais forte é, sem dúvida, o DGS, no concelho de Gondomar. Surpreendentemente, o mais recente tem uma extração próxima, a nível de quantidade, à do mais antigo, como se verifica no Quadro 4.1 onde se resumem todas as medições efetuadas com os respetivos resultados.

Quadro 4.1 – Condutas de extração de ar

Casos de estudo	Rua Godinho de Faria (GF)	Avenida do Conde (AC)		Avenida Dr. Domingos Gonçalves de Sá (DGS)		Rua de Nossa Sra. de Fátima (NSF)
Compartimentos	Cozinha	Instalações sanitárias	Cozinha	Instalações sanitárias	Cozinha	Cozinha
Dimensões da tubagem/grelha [m]	0,14x0,50	D _{sup} =0,095 D _{inf} =0,06 	0,14x0,50	D _{sup} =0,095 D _{inf} =0,06 	0,14x0,50	0,14x0,50
Velocidade do ar [m/s]	0,4	3,2	0,4	11,0	1,2	0,6
Caudal [m³/h]	100,8	49,1	100,8	65,3	302,4	151,2

Os resultados experimentais dos ensaios realizados precisam dum tratamento específico para passarem dos dados obtidos diretamente das leituras dos níveis de concentração, feitas pelo analisador de gás fotoacústico, para o número de renovações horárias e os valores dos caudais procurados. Existem duas variáveis a ter em consideração: o tempo, tanto o período inicial de estabilização como o intervalo de tempo correspondente à duração do ensaio, e a concentração do gás. Com o auxílio duma folha de cálculo de *Excel*, previamente preparada, conseguiu-se transformar as medições em nuvens de pontos de $\ln(c)$ em função do tempo e traçar linhas de tendência, com o coeficiente de determinação (R^2) o mais próximo possível da unidade, cujo valor absoluto do declive indica as renovações por hora, sendo a partir deste que multiplicando pelo volume do compartimento se obtém o caudal.

Cada ensaio é apresentado na sua respetiva ficha (encontram-se todas em anexo) que contém: informação base, como a data, a meteorologia e as dimensões do compartimento; medições realizadas durante o ensaio; o gráfico com a correspondente linha de tendência, incluindo o coeficiente de determinação (R^2); os resultados do número de renovações horárias e o valor do caudal calculado e ainda um campo dedicado a observações.

4.1.2. RESULTADOS GF

O ensaio na cozinha com a extração ligada e a porta fechada foi o escolhido, como exemplo, para se apresentar a sua ficha de ensaio (Figura 4.2). Durante as leituras feitas pelo analisador de gás fotoacústico mediu-se a velocidade do ar no exaustor com o objetivo de se avaliar o caudal de extração. Neste caso, encontrou-se uma forte correlação entre os pontos das várias medições e a linha de tendência traçada ($R^2 = 0,97$). Obteve-se um número de renovações de $1,32 \text{ h}^{-1}$ e um caudal de $46,4 \text{ m}^3/\text{h}$.

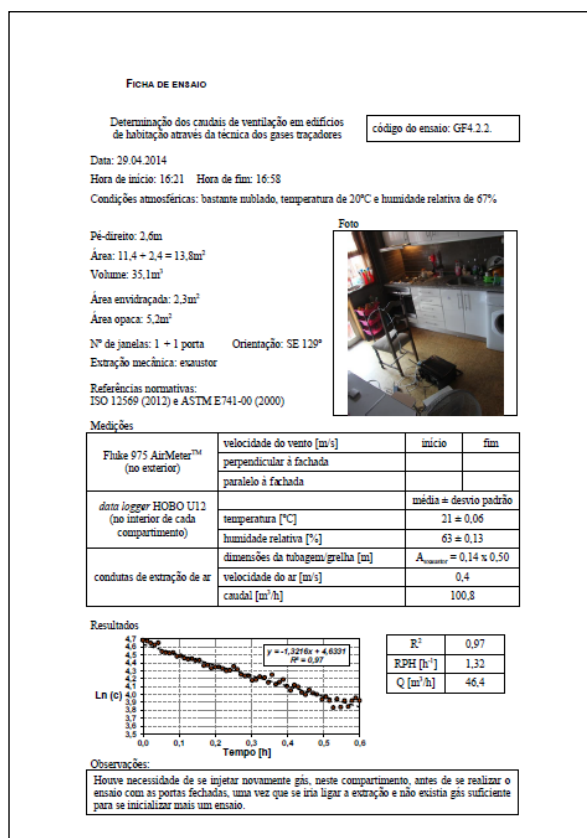


Figura 4.2 – Ficha de ensaio exemplificativa – GF4.2.2.

Nos gráficos seguintes, a variável representada no eixo das abcissas é o tempo, em horas, decorrido após o início da recolha de dados e no eixo das ordenadas o logaritmo neperiano da concentração do gás traçador. A título de exemplo, as Figuras 4.3 e 4.4 mostram os resultados do ensaio num compartimento principal com a porta fechada (quarto) e num compartimento de serviço, a funcionar com ventilação natural, com a porta aberta (instalação sanitária). No primeiro ensaio a aproximação da linha de tendência à nuvem de pontos é manifestamente mais forte, mas mesmo assim no segundo

o R^2 não é inferior a 0,8. Os restantes gráficos constam das fichas de ensaio que estão acessíveis no Anexo I.

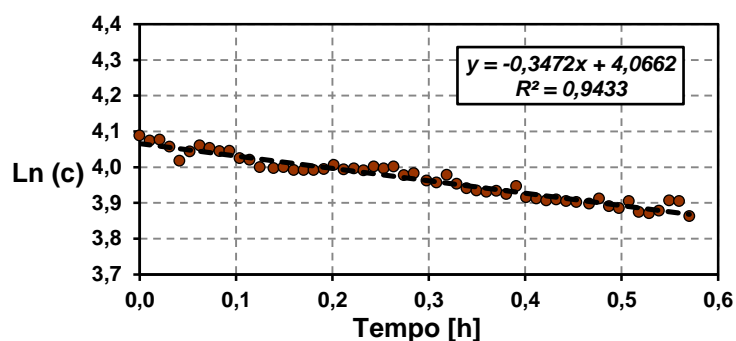


Figura 4.3 – Gráfico alusivo ao ensaio no quarto com a porta fechada – GF1.2.

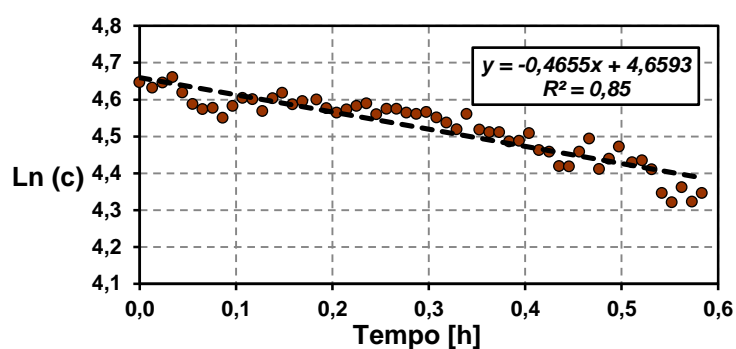


Figura 4.4 – Gráfico alusivo ao ensaio na instalação sanitária com a porta aberta – GF2.1.

No Quadro 4.2 apresentam-se os resultados do número de renovações horárias e dos respetivos caudais, obtidos em todos os ensaios e sintetizam-se os valores médios e os respetivos desvios padrão encontrados através da análise estatística dos registos de temperatura e de humidade relativa exterior e interior.

Quadro 4.2 – Quadro resumo dos resultados obtidos em GF

Rua Godinho de Faria	Quarto	Instalação sanitária	Cozinha sem extração	Cozinha com extração	Sala
Temperatura [°C] média exterior			21 ± 1,26		
Humidade relativa [%] média exterior			60 ± 5,70		
Temperatura [°C] média interior			20 ± 0,41		
Humidade relativa [%] média interior			62 ± 1,15		
RPH [h ⁻¹] porta aberta	1,31	0,47	0,81	1,06	0,64
RPH [h ⁻¹] porta fechada	0,35	0,09	0,25	1,32	0,03
Q [m ³ /h] porta aberta	34,9	6,4	28,5	37,2	40,0
Q [m ³ /h] porta fechada	9,3	1,2	8,6	46,4	1,9

Para facilitar a sua interpretação, os resultados estão graficamente representados na Figura 4.5.

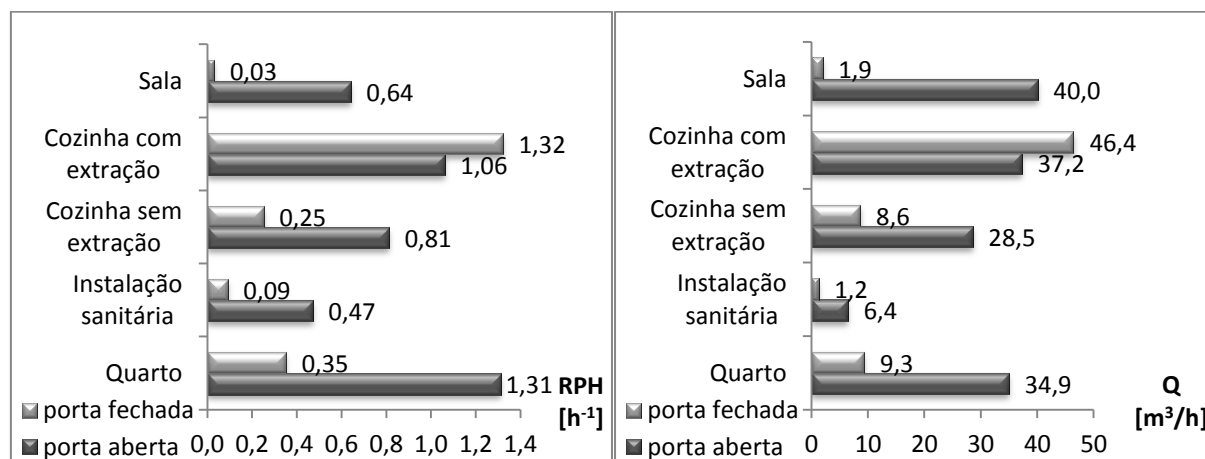


Figura 4.5 – Gráficos resumo do número de renovações horárias e dos caudais em GF

4.1.3. RESULTADOS AC

Uma ficha de ensaio exemplificativa deste caso de estudo pode ser consultada na Figura 4.6, tendo-se escolhido o ensaio que se realizou na instalação sanitária com a extração ligada e a porta fechada. Foi também medida a velocidade do ar no extrator para se estimar o caudal do sistema de ventilação mecânico neste compartimento. Neste ensaio obteve-se um R^2 de 0,98 que indica uma muito boa aproximação entre a linha de tendência traçada e os pontos representativos das várias medições. Os resultados deste ensaio foram uma taxa de renovação horária do ar de $2,3 \text{ h}^{-1}$ e $17,7 \text{ m}^3/\text{h}$ de caudal.

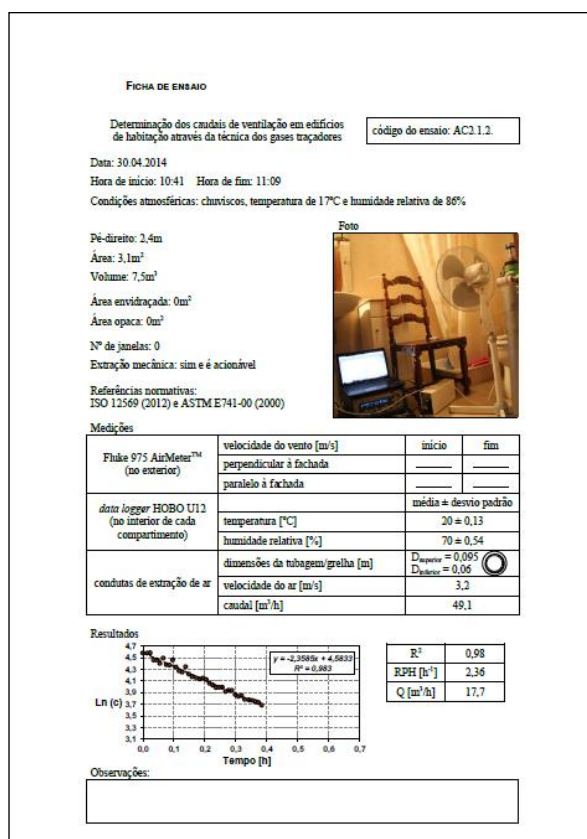


Figura 4.6 – Ficha de ensaio exemplificativa – AC2.1.2.

A título de exemplo, as Figuras 4.7 e 4.8 mostram, respetivamente, os resultados do ensaio num compartimento principal com a porta aberta e num compartimento de serviço com a extração ligada e a porta fechada. Em ambos os R^2 foram superiores a 0,95. Os restantes gráficos podem ser consultados no Anexo II nas respetivas fichas de ensaio.

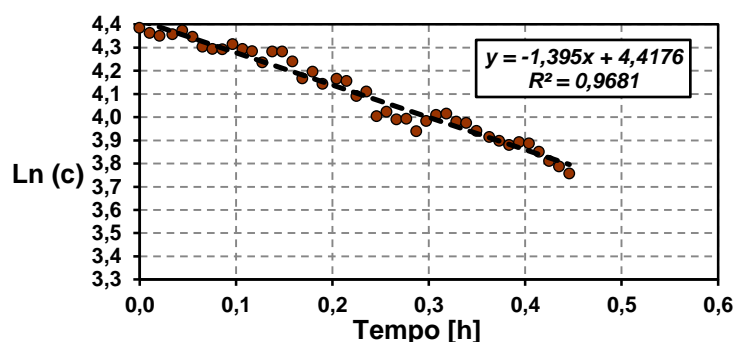


Figura 4.7 – Gráfico alusivo ao ensaio no quarto com a porta aberta – AC1.1.

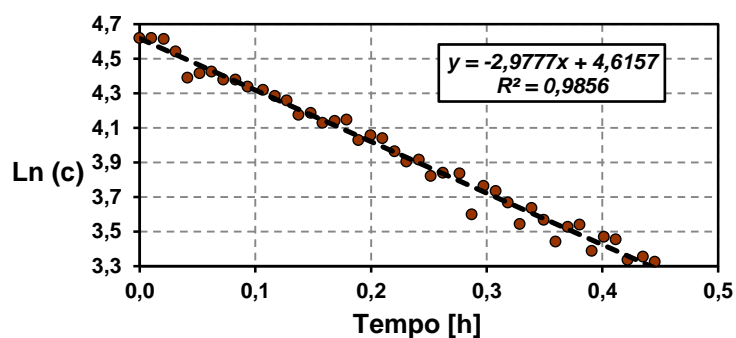


Figura 4.8 – Gráfico alusivo ao ensaio na cozinha com a extração ligada e a porta fechada – AC4.2.2.

No Quadro 4.3 sintetizam-se os valores médios e os respetivos desvios padrão calculados através da análise estatística dos registos de temperatura e de humidade relativa exterior e interior efetuados durante os ensaios nos diferentes compartimentos e apresentam-se os resultados do número de renovações horárias e dos respetivos caudais, obtidos em todos os ensaios.

Quadro 4.3 – Quadro resumo dos resultados obtidos em AC

Avenida do Conde	Quarto	Inst. san. com extração	Inst. san. sem extração	Cozinha sem extração	Cozinha com extração	Sala
Temperatura [°C] média exterior						19 ± 1,44
Humidade relativa [%] média exterior						77 ± 6,12
Temperatura [°C] média interior						21 ± 0,48
Humidade relativa [%] média interior						69 ± 0,95
RPH [h ⁻¹] porta aberta	1,40	2,67	1,77	1,25	2,53	0,71
RPH [h ⁻¹] porta fechada	0,51	2,36	0,21	0,81	2,98	0,10
Q [m ³ /h] porta aberta	36,6	20,0	13,3	46,2	93,8	45,1
Q [m ³ /h] porta fechada	13,4	17,7	1,6	29,8	110,2	6,2

Para facilitar a sua interpretação, os resultados estão graficamente representados na Figura 4.9.

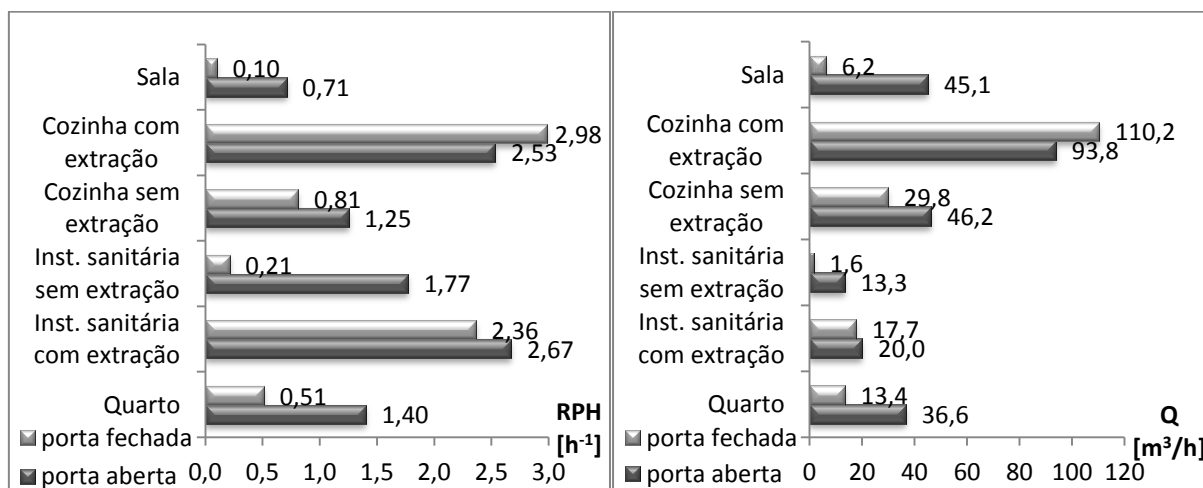


Figura 4.9 – Gráficos resumo do número de renovações horárias e dos caudais em AC

4.1.4. RESULTADOS DGS

Nesta habitação, para exemplificar os resultados, foi escolhida a ficha de ensaio realizada no quarto/*suite* com a porta aberta; sendo estes dois ensaios (porta aberta e porta fechada) os únicos num compartimento deste tipo. Para certificação de que decorriam ventos dito comuns e não se encontravam situações extremas, antes de se dar início às leituras, mediu-se a velocidade do vento, perpendicular e paralelo à fachada, assim como também, no fim destes dois ensaios se voltou a medir, constatando que o vento tinha aumentado 0,1m/s em ambas as direções, passando de 0,1m/s para 0,2m/s e de 0,2m/s para 0,3m/s, respetivamente. Embora os registos de concentração decorressem no quarto, pareceu importante conhecer a velocidade do ar no extrator e, por sua vez, avaliar o caudal de extração na instalação sanitária, pertencente à *suite*. Como se observa na Figura 4.10, nos momentos iniciais do ensaio, os pontos estão afastados da linha de tendência, mas deixa de acontecer com o avançar do tempo e passa a haver uma quase sobreposição dos pontos na reta, o que resulta num R^2 igual a 0,96. Obteve-se 1,14 renovações por hora e um caudal de 50,3m³/h.

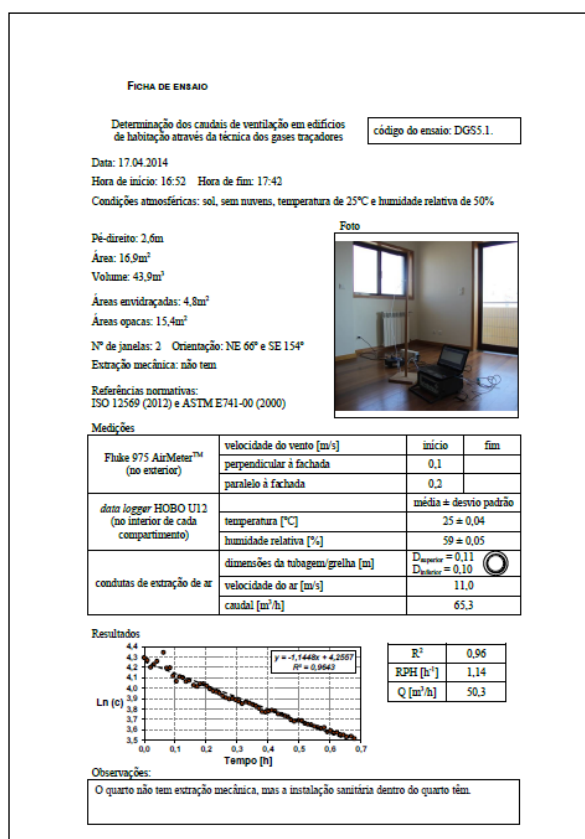


Figura 4.10 – Ficha de ensaio exemplificativa – DGS5.1.

Na Figura 4.11 é possível analisar um gráfico referente ao ensaio num compartimento principal, agora a sala, em vez dos quartos observados nos anteriores casos de estudo, com a porta aberta, cuja relação entre os pontos referentes às medições e a linha de tendência é um pouco idêntica à situação descrita no DGS5.1. em que se vão aproximando com o avançar do tempo decorrido após o início da recolha de dados. O melhor gráfico conseguido está representado na Figura 4.12, onde se alcançou o R^2 mais próximo da unidade, diz respeito a um compartimento de serviço com

a extração ligada e a porta fechada. No Anexo III encontram-se todos os outros gráficos nas fichas de ensaio correspondentes.

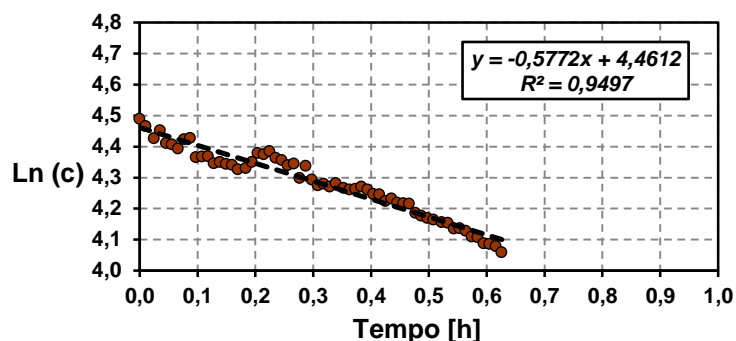


Figura 4.11 – Gráfico alusivo do ensaio na sala com a porta aberta – DGS4.1.

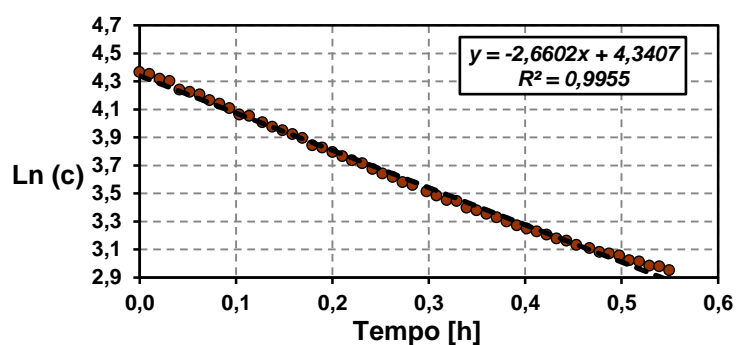


Figura 4.12 – Gráfico alusivo do ensaio na instalação sanitária e a porta fechada – DGS2.2.

Resumem-se, no Quadro 4.4, os valores médios e os respetivos desvios padrão determinados através da análise estatística dos registos de temperatura e de humidade relativa exterior e interior efetuados durante os ensaios nos diferentes compartimentos e os resultados do número de renovações horárias e dos respetivos caudais, obtidos em todos os ensaios.

Quadro 4.4 – Quadro resumo dos resultados obtidos em DGS

Avenida Dr. Domingos Gonçalves de Sá	Quarto	Inst. sanitária	Cozinha com Q_{\min} de ext.	Cozinha com Q_{\max} de ext.	Sala	Quarto / Suite
Temperatura [°C] média exterior	$20 \pm 3,57$					
Humidade relativa [%] média exterior	$68 \pm 12,10$					
Temperatura [°C] média interior	$24 \pm 0,86$					
Humidade relativa [%] média interior	$61 \pm 1,84$					
RPH [h ⁻¹] porta aberta	0,93	5,09	1,20	2,17	0,58	1,14
RPH [h ⁻¹] porta fechada	0,18	2,66	1,05	2,84	0,18	0,56
Q [m ³ /h] porta aberta	41,0	51,4	46,3	83,6	53,9	50,3
Q [m ³ /h] porta fechada	8,0	26,9	40,6	109,5	17,2	24,5

Para facilitar a sua interpretação, os resultados estão graficamente representados na Figura 4.13.

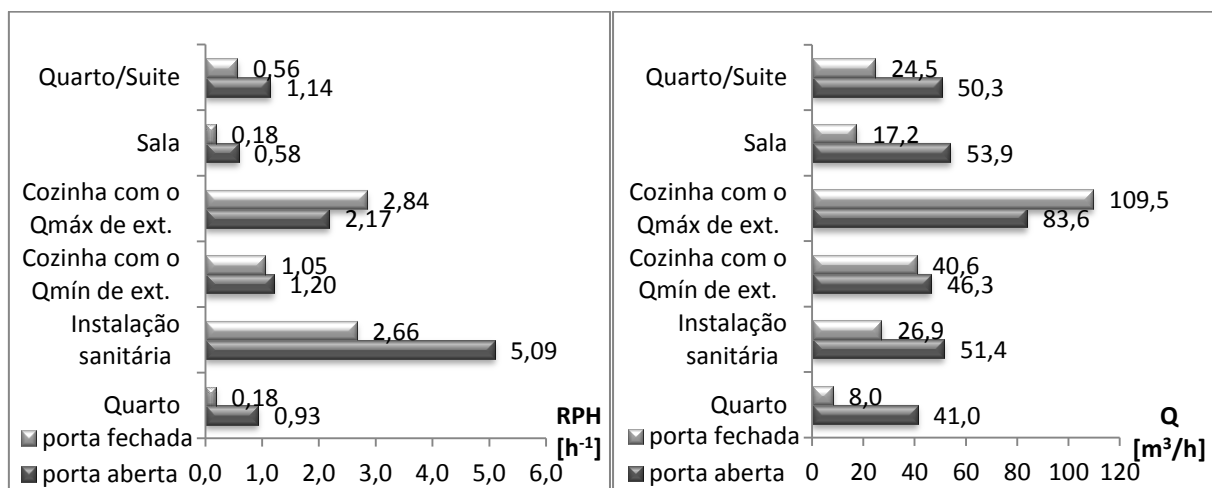


Figura 4.13 – Gráficos resumo do número de renovações horárias e dos caudais em DGS

4.1.5. RESULTADOS NSF

O ensaio no quarto com a porta fechada apresenta a sua ficha de ensaio, como exemplo, na Figura 4.14. No início e no fim das leituras, efetuaram-se medições exteriores da velocidade do vento, perpendicular e paralelo à fachada, notando um ligeiro crescimento na sua intensidade, principalmente na direção paralela à fachada, onde o valor mais elevado foi de 2,0m/s. A linha de tendência está tapada pelos pontos, o que significa que se encontrou uma enorme correlação linear entre as variáveis, fazendo com que quase todos os pontos pertençam à reta o que é demonstrado pelo 0,97 do R^2 . Os resultados obtidos foram dum número de renovações horárias de 0,14 h^{-1} e dum caudal de 3,1 m^3/h .

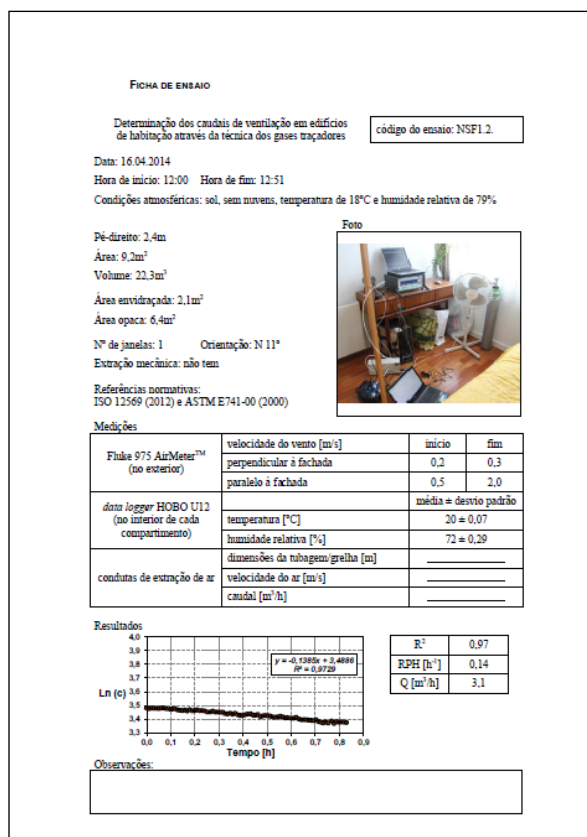


Figura 4.14 – Ficha de ensaio exemplificativa – NSF1.2.

Nos próximos dois gráficos, os R^2 são superiores a 0,90, o que indica que, mais uma vez, encontrou-se uma boa aproximação da linha de tendência aos pontos. A Figura 4.15 corresponde a um compartimento principal com a porta fechada e a Figura 4.16 a um compartimento de serviço com a extração ligada, caudal mínimo, ou seja, a gaveta que contém a grelha do exaustor fechada, e a porta aberta. Têm em comum a característica duma diminuta variação da concentração do gás durante todo o ensaio, fazendo com que as retas de tendência se aproximem da horizontal e, por sua vez, o número de renovações horárias esteja próximo de zero. Todos os outros gráficos constam das fichas de ensaio de possível consulta no Anexo IV.

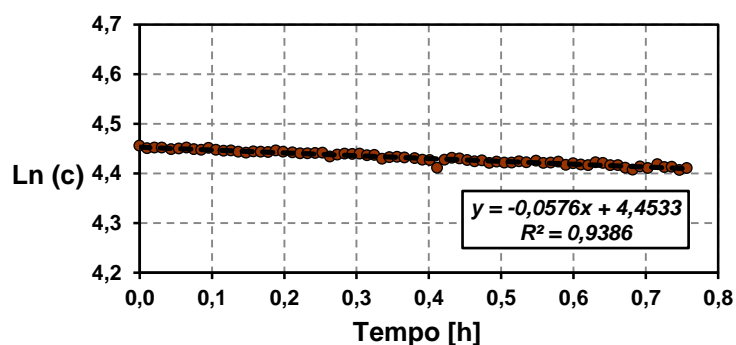


Figura 4.15 – Gráfico alusivo ao ensaio na sala com a porta fechada – NSF4.2.

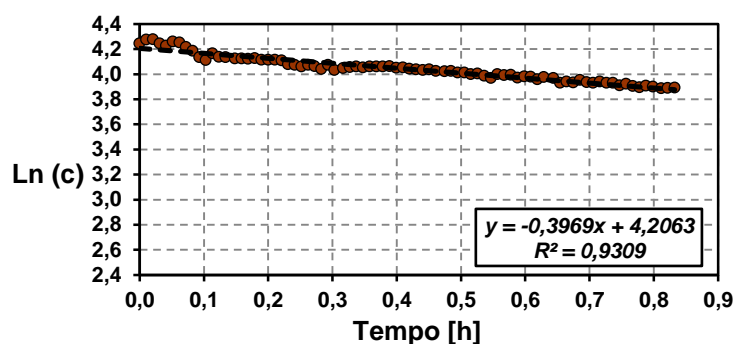


Figura 4.16 – Gráfico alusivo ao ensaio na cozinha com a extração ligada, o caudal mínimo e a porta aberta – NSF3.1.1.

No Quadro 4.5 apresentam-se os resultados do número de renovações horárias e dos respetivos caudais, obtidos em todos os ensaios e resumem-se os valores médios e os respetivos desvios padrão calculados através da análise estatística dos registos de temperatura e de humidade relativa exterior e interior.

Quadro 4.5 – Quadro resumo dos resultados obtidos em NSF

Rua de Nossa Sra. de Fátima	Quarto	Instalação sanitária	Cozinha com Q_{\min} de extração	Cozinha com Q_{\max} de extração	Sala
Temperatura [°C] média exterior	18 ± 0,73				
Humidade relativa [%] média exterior	74 ± 4,38				
Temperatura [°C] média interior	19 ± 0,55				
Humidade relativa [%] média interior	76 ± 2,98				
RPH [h ⁻¹] porta aberta	0,85	1,54	0,40	1,15	0,20
RPH [h ⁻¹] porta fechada	0,14	0,09	0,13	1,47	0,06
Q [m ³ /h] porta aberta	18,8	11,0	11,0	31,8	10,1
Q [m ³ /h] porta fechada	3,1	0,6	3,5	40,6	2,8

Para facilitar a sua interpretação, os resultados estão graficamente representados na Figura 4.17.

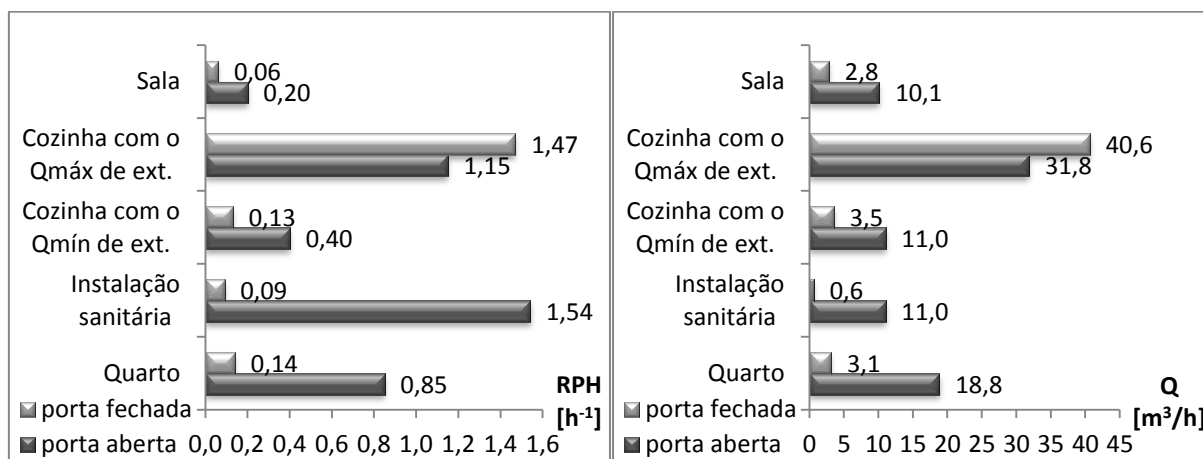


Figura 4.17 – Gráficos resumo do número de renovações horárias e dos caudais em NSF

4.2. ANÁLISES E COMPARAÇÕES

Antes de mais, não se pode deixar de fazer uma chamada de atenção para a escala utilizada que pode interferir na leitura dos gráficos de base deste trabalho, representativos de cada ensaio e existentes em todas as fichas. A ideia inicial seria construir os gráficos mantendo as escalas em cada um dos eixos para permitir uma fácil interpretação e uma imediata comparação entre as diferentes variações de concentração do gás e as várias inclinações da linha de tendência. Porém, tal não foi possível, devido a uma não uniformidade na duração do registo das leituras feitas pelo analisador de gás fotoacústico e na própria concentração inicial do gás traçador, assim como também, no seu decaimento. Todavia, adotou-se o critério de manter as escalas, em ambos os eixos, nos gráficos referentes aos ensaios do mesmo compartimento dentro da mesma habitação, tornando possível uma mais fácil comparação entre ensaios realizados no mesmo espaço tendo condicionantes diferentes. Daí se explica alguns gráficos terem escalas não muito adequadas e que não favorecem a sua leitura.

Analizando agora alguns casos particulares, começa-se por referir que os ensaios realizados numa das instalações sanitárias em NSF foram previstos com a extração ligada, visto ser um edifício recente e ter um equipamento de extração mecânico e centralizado intermitente na cozinha e contínuo nas instalações sanitárias, mas na prática isso não sucedeu. Apercebeu-se de que talvez a ventilação nas instalações sanitárias estivesse desligada, pois não se ouvia qualquer som provocado pela sucção do ar e ao medir-se a velocidade do ar na conduta de extração obtiveram-se valores muito baixos. Comprovou-se essa hipótese com os resultados do número de renovações horárias e dos caudais calculados, uma vez que se aproximaram de casos semelhantes sem extração e não sendo comparáveis aos restantes ensaios decorridos em instalações sanitárias com a extração ligada. Deste modo, na apresentação dos resultados, nas análises e nas comparações, admitiu-se que aquela instalação sanitária se tratava de uma sem extração mecânica.

Em GF, na sala com a porta fechada, cujo gráfico resultante do ensaio se pode observar na Figura 4.18, foi de todos o que obteve um R^2 mais baixo (0,70), apesar do ensaio ter decorrido durante um período de tempo bastante considerável. No entanto, o valor de taxa de renovação horária do ar foi muito reduzido e, portanto, o decaimento da concentração do gás traçador foi muito pequeno, ficando o ajuste da linha de tendência muito dependente de pequenas flutuações do seu valor. Este facto indicia que este ensaio deveria ter sido mais demorado para melhorar a exatidão do resultado.

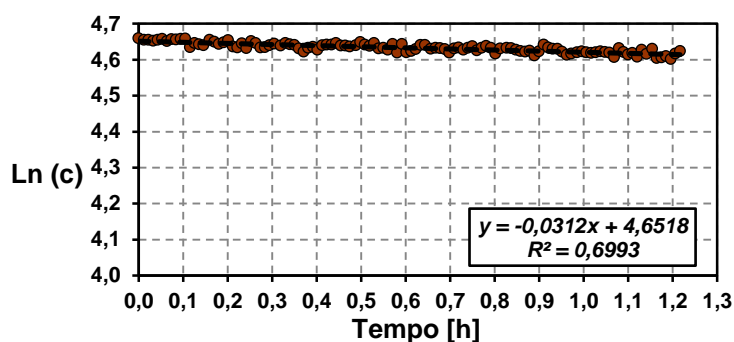


Figura 4.18 – Gráfico alusivo ao ensaio na sala com a porta fechada – GF3.2.

Na análise e interpretação dos resultados considerou-se importante comparar o comportamento de compartimentos idênticos nas quatro habitações. Seguidamente são apresentados gráficos resumo das renovações horárias e dos caudais, com os dois cenários de envolvente (porta aberta e porta fechada), dos quartos (Figura 4.19), das instalações sanitárias sem e com extração (Figuras 4.20 e 4.21), das cozinhas sem e com extração (Figuras 4.22 e 4.23) e das salas (Figura 4.24), de todos os casos de estudo.

Os quartos estão representados na Figura 4.19 pelo número de renovações horárias e pelos respetivos caudais. A porta estando fechada diminui acentuadamente a qualidade do ar no seu interior. Com a porta aberta os quatro quartos conseguem obter uma renovação horária superior a $0,4 \text{ h}^{-1}$, valor mínimo de taxa de renovação de ar. Segundo o regulamento em vigor (REH), nos edifícios de habitação, o valor da taxa de renovação horária de ar calculado de acordo com as disposições previstas para o efeito em Despacho do Diretor-Geral de Energia e Geologia, deve ser igual ou superior a 0,4 renovações por hora (Portaria n.º349-B, 2013).

Verificou-se ainda uma maior estanquidade no edifício mais recente, isto é, um menor número de infiltrações. O da década de 90 (edifício AC) apresentou 1,40 renovações por hora, o valor mais elevado. No entanto, em termos de caudal, o edifício DGS, em Gondomar, apresentou o valor mais elevado, atingindo $41,0 \text{ m}^3/\text{h}$.

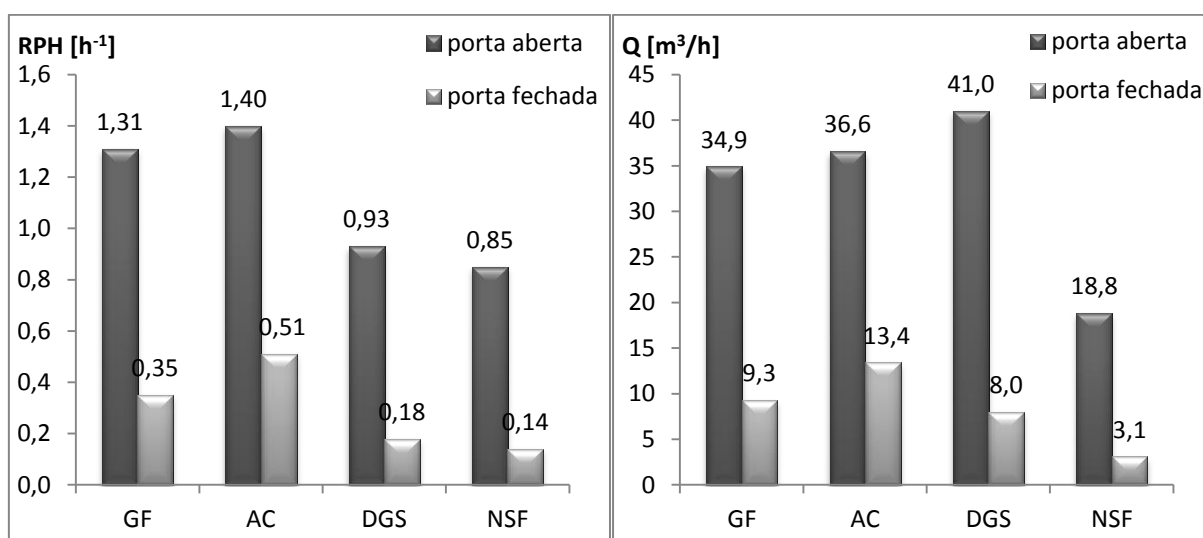


Figura 4.19 – Gráficos resumo do número de renovações horárias e dos caudais nos quartos

As instalações sanitárias não eram todas iguais e, por vezes, as condições de ensaio tiveram de ser adaptadas. As instalações apresentavam características algo diferentes, acima de tudo devido à idade de construção, mas também por os sistemas de ventilação se encontrarem ligados ou desligados. Na habitação mais antiga, a ventilação na instalação sanitária é unicamente natural, sendo feita através duma grelha fixa com duas posições: aberta ou fechada. As instalações sanitárias no edifício AC estão equipadas com um sistema de ventilação mecânico acionável pelo utilizador, tornando possível criar os dois cenários e, portanto, realizar quatro ensaios. Em DGS, foi onde se registaram as maiores velocidades do ar nas grelhas de exaustão, tem um funcionamento contínuo, não sendo por isso possível realizar ensaios sem extração. No edifício mais recente, em NSF, a ventilação na instalação sanitária acaba por se assemelhar à mais antiga. Como anteriormente explicado, considerou-se sem extração mecânica, uma vez que não foi possível ligar o sistema.

Nos ensaios sem extração mecânica a diferença entre a porta aberta e a porta fechada é mais notória do que nos com extração, mas, como seria expectável, em todos a porta estando fechada diminui o número de renovações horárias e por sua vez o caudal. Na instalação sanitária em GF, apenas com a porta aberta se obteve uma renovação horária superior a $0,4 \text{ h}^{-1}$, requisito mínimo de ventilação do regulamento em vigor (REH) para habitação, mas não se conseguem atingir as 0,6 renovações por hora referidas no antigo regulamento (RCCTE). Já nas situações em que a extração está ligada, ou seja, em AC e DGS, é sempre ultrapassado o valor base do regulamento atual. Com a porta aberta e sem extração, as habitações de AV e de NSF atingem valores acima do de referência mencionado no REH. Com a porta fechada e sem extração, nenhuma das três foram medidas as 0,4 renovações por hora referidas no REH. A Figura 4.20 apresenta os resultados em termos de número de renovações horárias nas instalações sanitárias sem e com extração.

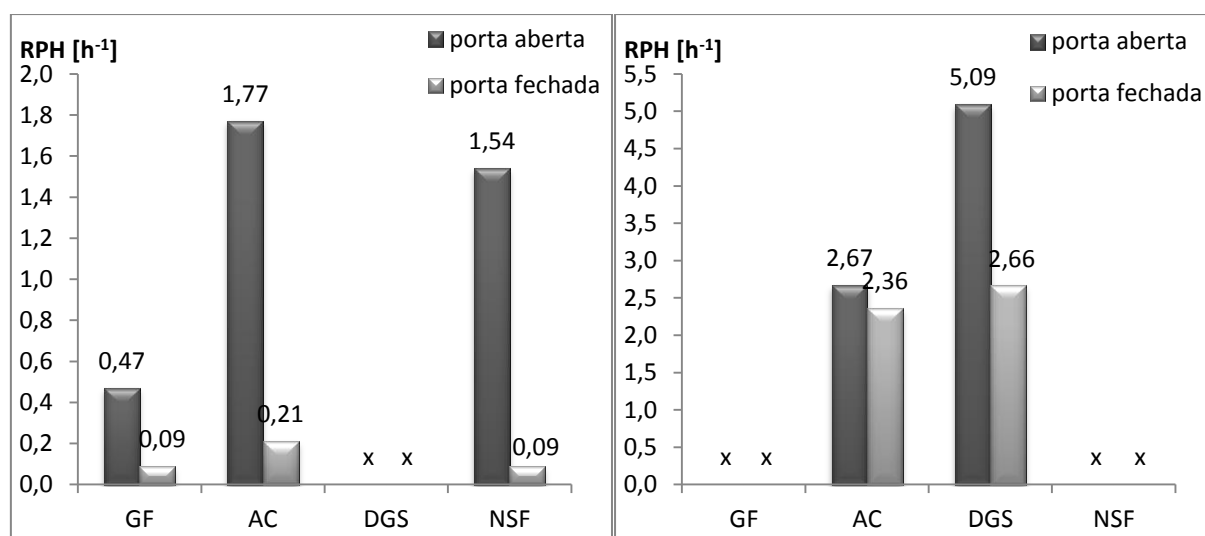


Figura 4.20 – Gráficos resumo do número de renovações horárias nas instalações sanitárias sem e com extração

Analisando os resultados em termos de caudais, a instalação sanitária de DGS também apresenta o valor mais elevado, alcançando $51,4 \text{ m}^3/\text{h}$ com extração e a porta aberta. Para se ter uma ideia de comparação entre os caudais obtidos nas instalações sanitárias e os caudais-tipo a respeitar para os compartimentos de serviço, consultou-se o Quadro 1 da NP 1037-1 (salienta-se que se trata duma norma sobre ventilação natural em edifícios de habitação, o que não sendo aplicável a qualquer um dos casos de estudo serve apenas a título indicativo) e verificou-se que todos os valores, exceto o caudal mais elevado já referido, não atingem os normalizados. O caudal-tipo a extrair nas instalações sanitárias com banheira ou duche, cujo compartimento tem um volume até 11 m^3 , inclusive, é de $45 \text{ m}^3/\text{h}$; na realidade, em AC, em DGS e em NSF que são os compartimentos com volume inferior a 11 m^3 , apenas se confirma em DGS e nas condições de extração mecânica e porta aberta. Para um volume entre 11 m^3 e 15 m^3 , como é o caso da instalação sanitária em GF, o caudal-tipo a extrair aumenta para $60 \text{ m}^3/\text{h}$, estando o caso de estudo muito longe desse valor. A Figura 4.21 apresenta os resultados em termos de caudais nas instalações sanitárias sem e com extração.

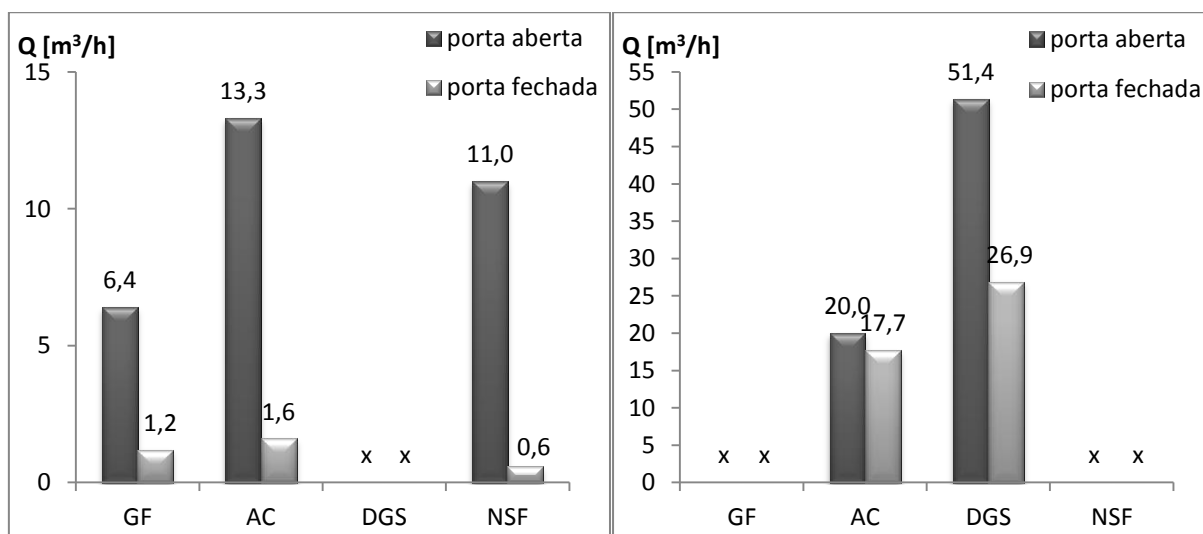


Figura 4.21 – Gráficos resumo dos caudais nas instalações sanitárias sem e com extração

Todas as cozinhas funcionam sem e com extração mecânica, as mais antigas em que se conseguiu desligar completamente a extração e as mais recentes em que se regula o caudal de extração, visto tratarem-se de sistemas de ventilação mecânicos, centralizados e contínuos, permitindo, deste modo, criar os dois cenários, manter as restantes condicionantes e realizar as quatro condições de ensaio. Nos ensaios sem extração, assim como sucede em todos os outros compartimentos, a porta fechada diminui o número de renovações horárias e por sua vez o caudal. Já com extração mecânica, inesperadamente, a situação inverte-se, de seguida tentar-se-á explicar caso a caso o porquê. Na cozinha de NSF sem extração mecânica e com a porta fechada não se conseguem atingir as 0,4 renovações por hora referidas no REH. Com a porta aberta é cumprido esse requisito mínimo de ventilação, mas não se atingem as 0,6 renovações por hora referidas no antigo regulamento (RCCTE). Com a porta fechada e sem extração mecânica, a cozinha da habitação de GF também não se aproxima do valor de referência do regulamento (REH). Nas situações em que a extração está ligada e com o caudal máximo, ou seja, a gaveta que contém a grelha do exaustor se encontra aberta, em todos os casos de estudo e nas várias condicionantes é sempre ultrapassado o valor base do regulamento, assim como também o valor de referência do antigo regulamento.

A cozinha de AC apresentou o caudal mais elevado, atingindo o valor de $110,2 \text{ m}^3/\text{h}$ com extração mecânica e a porta fechada. Convém contudo mencionar que não dista muito do valor nas mesmas circunstâncias da cozinha de DGS. Para comparar os caudais obtidos nas cozinhas com os caudais-tipo a respeitar para os compartimentos de serviço, consultou-se, novamente, o Quadro 1 da NP 1037-1 (evidencia-se, mais uma vez, que se trata duma norma sobre ventilação natural em edifícios de habitação, o que não sendo aplicável a qualquer um dos casos de estudo serve apenas a título indicativo) e verificou-se que apenas dois valores, o mais elevado da cozinha em AC e o da DGS, se aproximam dos normalizados. O caudal-tipo a extrair nas cozinhas com estas dimensões é de $120 \text{ m}^3/\text{h}$, valor que não foi atingido em nenhum ensaio.

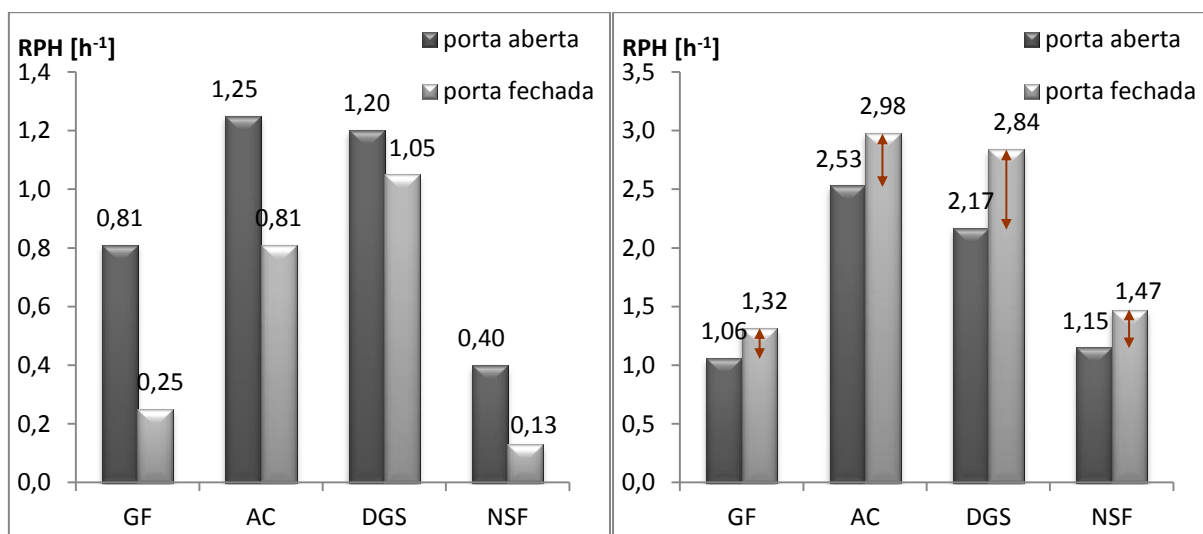


Figura 4.22 – Gráficos resumo do número de renovações horárias nas cozinhas sem e com extração

Nos ensaios realizados com extração mecânica, deparou-se com uma situação não expectável: haver um número mais elevado de renovações horárias e por conseguinte o caudal é maior com a porta fechada do que estando a porta aberta, tendo-se esta situação verificado em todos os edifícios de habitação, como se observa nas Figuras 4.22 e 4.24. O esperado seria com a porta aberta haver uma maior circulação de ar do que com a porta fechada.

A possível justificação para este facto é aplicável a todos os casos de estudo e prende-se com o facto de a extração mecânica gerar um diferencial de pressão elevada, aumentando o efeito de sucção. No caso de GF, numa das paredes da cozinha existe um vão envidraçado fixo de grande dimensão, uma janela basculante e uma porta em vidro de acesso à marquise, tendo os três vidro simples e uma caixilharia de alumínio com estanquidade reduzida face aos parâmetros atuais. Em AC há uma junção duma zona, que seria uma lavandaria no passado, com a cozinha e neste compartimento tem-se acesso a uma varanda fechada. Na habitação de DGS, existem umas grelhas de admissão de ar nas janelas na zona da lavandaria/arrumos, sendo feito o acesso à cozinha através dumas portas de correr, envidraçadas e com caixilharia de alumínio e, como no capítulo anterior se referiu e ilustrou (Figura 3.11), a cozinha pode ter uma admissão de ar notória, pois há algumas frinchas bastante pronunciadas nestas portas. E no caso de NSF, nos arrumos encontra-se uma grelha de extração que chega mesmo a inverter o sentido do fluxo de ar aquando da abertura do caudal máximo do sistema de ventilação mecânico da cozinha. Todas as cozinhas dos casos de estudo têm possíveis, algumas até em demasia, entradas de ar, como as fotografias ilustram na Figura 4.23, que contribuem para estes valores mais elevados do número de renovações horárias quando a porta está fechada e provoca uma variação de pressão maior.



Figura 4.23 – Fotografias ilustrativas de possíveis entradas de ar nas cozinhas dos quatro casos de estudo

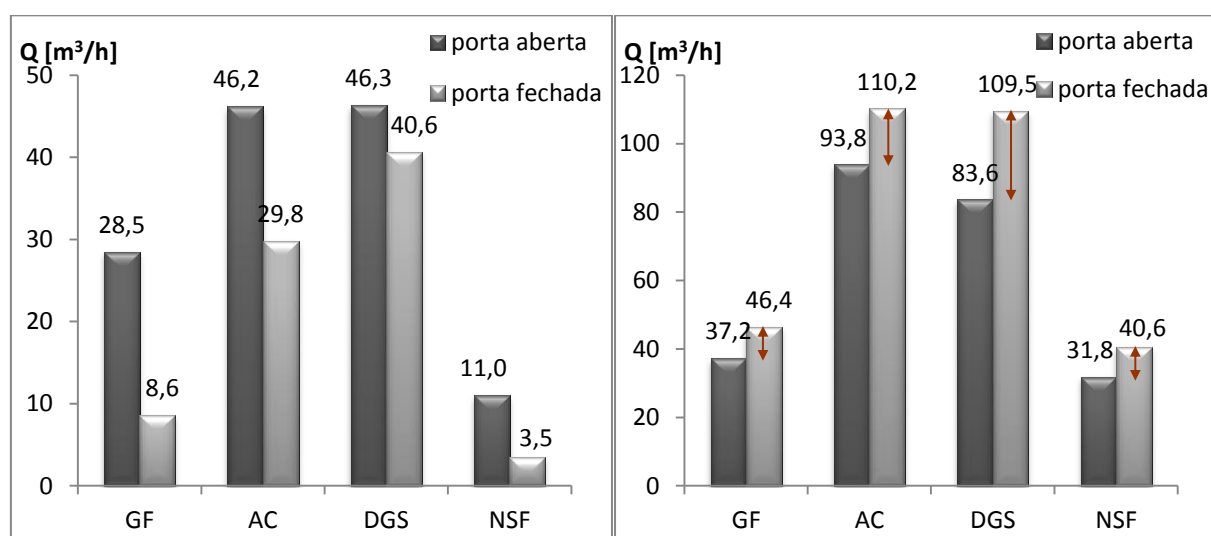


Figura 4.24 – Gráficos resumo dos caudais nas cozinhas sem e com extração

Nas salas, a porta fechada diminui acentuadamente a qualidade do ar no seu interior, pois as taxas de renovação horária do ar são muito reduzidas, a diferença da porta aberta para a porta fechada aumenta de uma maneira inversa à data de construção dos edifícios. Apenas três salas com a porta aberta cumprem o requisito mínimo de ventilação do regulamento em vigor (REH), apresentando uma renovação horária superior a $0,4 \text{ h}^{-1}$, atingindo mesmo as 0,6 renovações por hora referidas no antigo regulamento (RCCTE). Mais uma vez, neste compartimento se faz notar uma maior estanquidade no edifício mais recente, ou seja, uma diminuição das infiltrações. Nesta sala, nem na situação com a porta aberta, se atingem valores próximos do valor base do regulamento. Volta a destacar-se o edifício AC, apresentando 0,71 renovações por hora, o valor mais elevado. Contudo, estes valores em comparação com os quartos são consideravelmente inferiores. Relativamente ao valor do caudal, é novamente em DGS que se encontrou o caudal mais elevado, com a porta aberta, chegando ao valor de $53,9 \text{ m}^3/\text{h}$. A Figura 4.25 apresenta os resultados em termos de número de renovações horárias e de caudais nas salas.

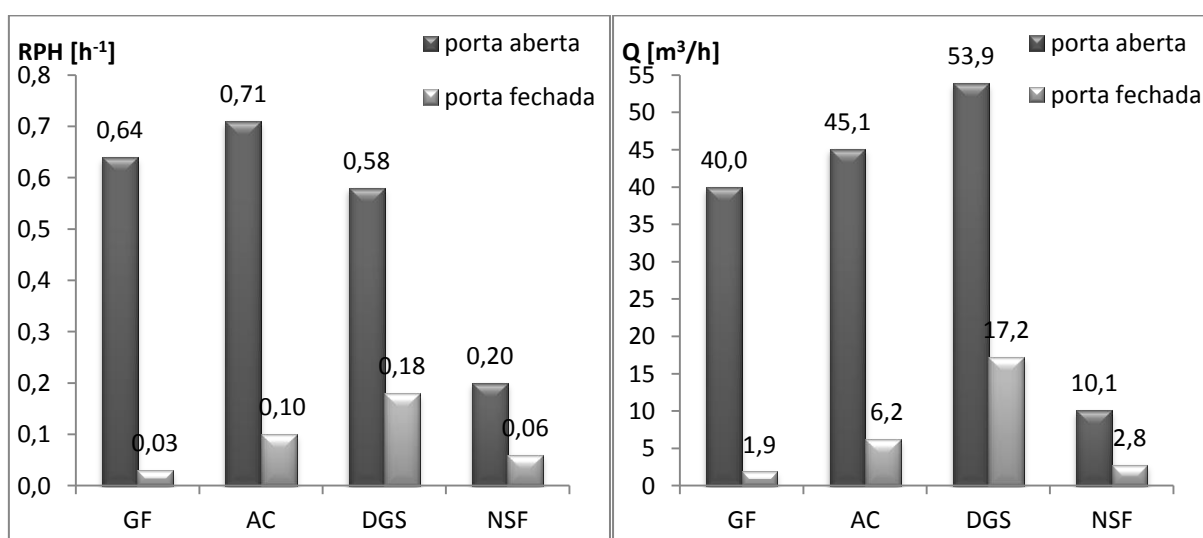


Figura 4.25 – Gráficos resumo do número de renovações horárias e dos caudais nas salas

Caso a caso, ao longo deste subcapítulo, foi feita uma análise de quais os compartimentos que atingiam as 0,4 renovações por hora exigidas pelo novo regulamento e nos casos em que pareceu oportuno ainda as 0,6 renovações por hora do antigo regulamento e em que condições é que tal se verificava. Convém referir que estas comparações são meramente indicativas, uma vez que os valores impostos pelos regulamentos dizem respeito à habitação no seu todo e não a compartimentos. Em suma, fazendo uma síntese e aproveitando as médias dos resultados, por compartimento, calculadas e registadas em gráfico, facilitando assim a sua leitura, os compartimentos que alcançam as 0,4 renovações horárias são: os quartos com a porta aberta, as instalações sanitárias sem extração com a porta aberta, as instalações sanitárias com extração tendo a porta aberta ou fechada, as cozinhas sem e com extração em ambas as situações e as salas com a porta aberta. As salas com a porta fechada apresentaram o resultado mais baixo.

Na Figura 4.26 tem-se uma ideia dos valores obtidos das renovações horárias através da média por compartimento. Os números de renovações horárias são maiores nos compartimentos com dispositivos de extração, isto é, nas instalações sanitárias, sendo maior com a porta aberta, e nas cozinhas, sendo maior com a porta fechada. As salas demonstram um número nada recomendável

e demasiado baixo na situação em que a porta se encontra fechada. Os quartos mantendo a porta aberta apresentam renovações horárias aceitáveis.

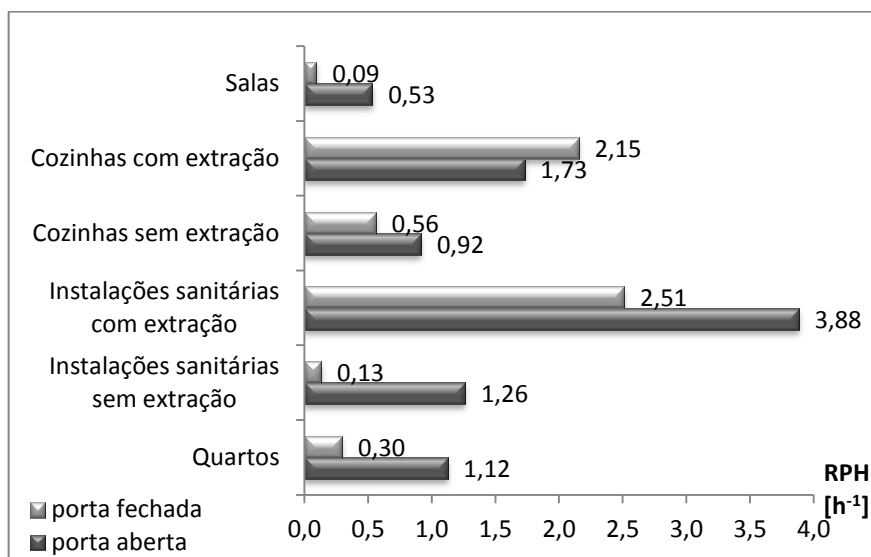


Figura 4.26 – Médias do número de renovações horárias por compartimento

O número de renovações horárias é unidimensional, enquanto o caudal depende da área, ou melhor, do volume do espaço. Para efetuar comparações entre compartimentos, só é possível conhecendo as suas renovações horárias. Mas, para interesses de eficiência energética duma habitação, é necessário calcularem-se os caudais.

Na Figura 4.27 tem-se agora uma ideia dos resultados calculados dos caudais através da média por compartimento. Os caudais são notoriamente maiores nas cozinhas com extração mecânica, conseguindo ainda alcançar valores mais elevados com a porta fechada. Os quartos, as instalações sanitárias com extração e as salas, mantendo a porta aberta, obtêm caudais próximos, cujos valores são sensivelmente metade dos caudais das cozinhas. Os valores mais baixos pertencem às instalações sanitárias sem extração (por terem um volume muito reduzido) e fazem-se sentir com a porta fechada.

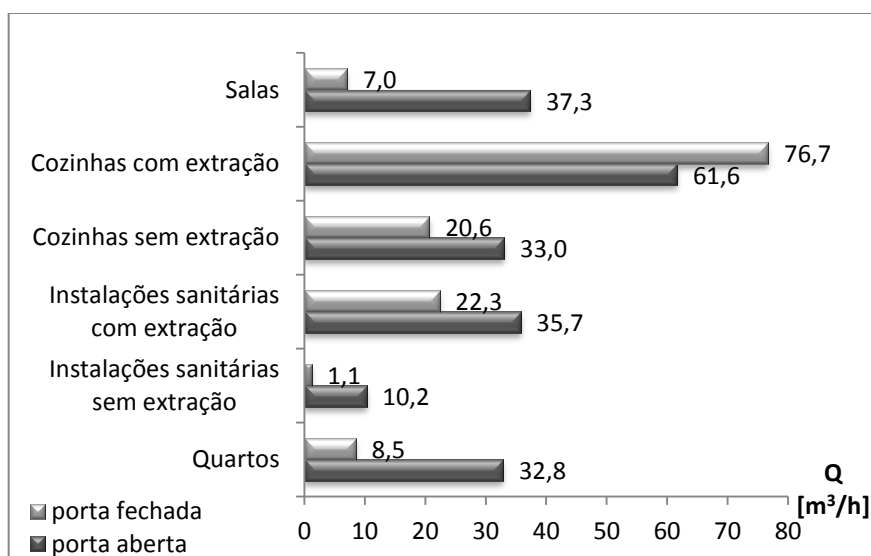


Figura 4.27 – Médias dos caudais por compartimento

4.3. DISCUSSÃO COMPLEMENTAR

Os envidraçados são tipicamente os elementos construtivos que mais contribuem para a permeabilidade de um edifício. Dessa forma, com o objetivo de se perceber se o número de renovações horárias é de alguma forma influenciado pela área envidraçada do compartimento, explorou-se um número vasto de hipóteses e analisaram-se os resultados encontrados. Os gráficos construídos foram nuvens de pontos estando representado no eixo das ordenadas as renovações por hora e no eixo das abcissas: (1) a área envidraçada; (2) o quociente da área envidraçada pela área do pavimento; (3) a razão entre a área envidraçada e a área opaca da envolvente. Trabalhou-se sempre com duas séries, separando-se os ensaios realizados com a porta aberta dos com a porta fechada.

Começou-se por fazer uma investigação compartimento a compartimento, juntando os ensaios realizados nas quatro habitações. Nos casos dos compartimentos de serviço foram necessárias quatro séries para se poder explorar também o efeito da extração. As instalações sanitárias que não têm janelas (todas exceto a de NSF) têm uma área envidraçada nula e uma área opaca de envolvente exterior de zero, o que faz com que o seu quociente da área envidraçada pela área do pavimento seja zero e a razão entre a área envidraçada e a área opaca da envolvente não se possa considerar. Todos estes gráficos podem ser consultados no Anexo V.

Seguidamente, agrupando a informação, reuniram-se todos os ensaios nos três gráficos que se observam abaixo, onde se variou a representatividade do eixo das abcissas (área envidraçada – Figura 4.28, quociente da área envidraçada pela área do pavimento – Figura 4.29 e razão entre a área envidraçada e a área opaca da envolvente – Figura 4.30) e mantiveram-se as renovações por hora no eixo das ordenadas. Foram excluídos os resultados alcançados das instalações sanitárias, sendo mesmo retirado este tipo de compartimento dos gráficos gerais. Dos ensaios realizados nas cozinhas, foram apenas contabilizados os sem extração.

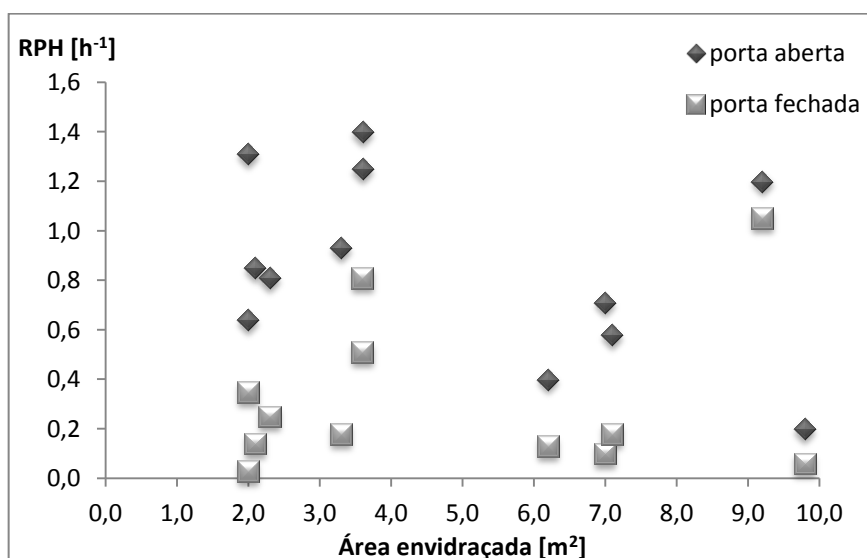


Figura 4.28 – Nuvem de pontos global dos resultados das renovações por hora em função da área envidraçada

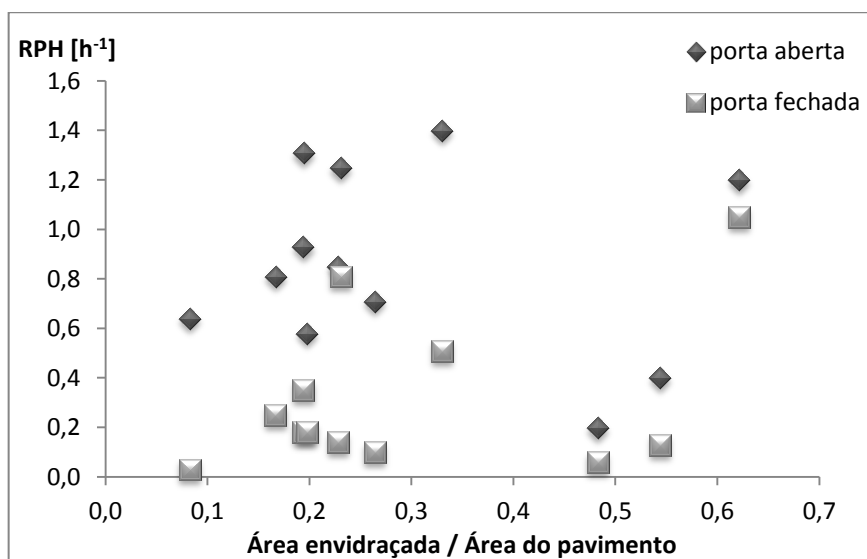


Figura 4.29 – Nuvem de pontos global dos resultados das renovações por hora em função da área envidraçada sobre a área do pavimento

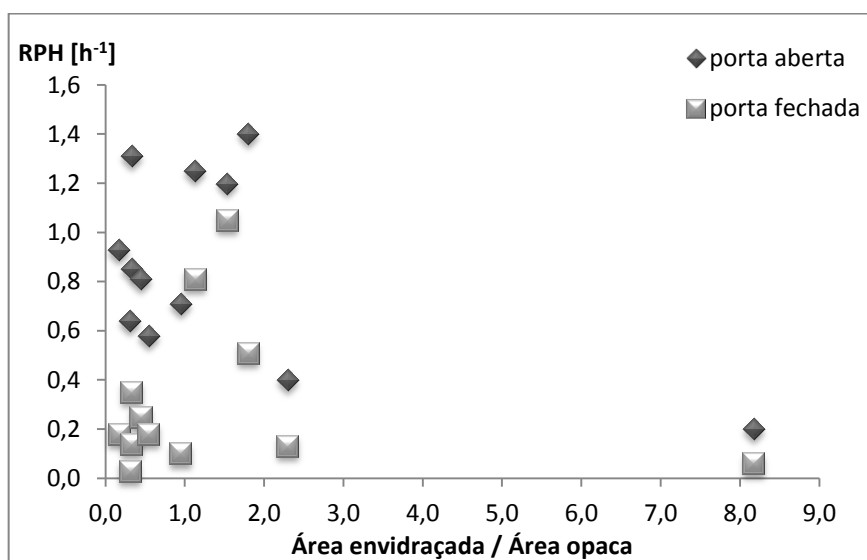


Figura 4.30 – Nuvem de pontos global dos resultados das renovações por hora em função da área envidraçada sobre a área opaca

Como se pode ver, os pontos estão bastante dispersos sem demonstrarem uma tendência definida. Não se conseguiu encontrar qualquer relação entre estas variáveis, nem entre as renovações por hora e as áreas envidraçadas, nem entre as renovações por hora e o quociente da área envidraçada pela área do pavimento, nem entre as renovações por hora e a razão entre a área envidraçada e a área opaca da envolvente.

Analisou-se ainda como se comporta um possível fluxo do ar dentro das quatro habitações estudadas, com a ideia de se confirmar o equilíbrio de caudais. No caso de estudo AC não se procedeu a essa análise, por não terem sido medidos todos os caudais necessários.

Os cálculos efetuados basearam-se, inicialmente, na consideração teórica de que a soma dos caudais dos compartimentos de serviço (cozinha e instalações sanitárias) é igual à soma dos caudais dos compartimentos principais (sala e quartos), como sintetiza o Quadro 4.6. Os quartos/*suites* existentes em DGS contabilizaram-se como sendo compartimentos de serviço e simultaneamente principais, logo os seus caudais adicionaram-se aos dois membros da igualdade; os ensaios decorreram no quarto, mas com a porta de acesso à instalação sanitária sempre aberta, obtendo-se assim registos globais que não permitiram chegar a caudais isolados.

Não se tendo verificado o equilíbrio entre os caudais na maioria das habitações, realizou-se um estudo mais cuidado do fluxo dos caudais passando por se examinarem as plantas, ou seja, tendo em conta a disposição dos compartimentos. Investigaram-se tanto os resultados obtidos com a porta aberta como os com a porta fechada, considerando-se apenas os ensaios sem extração ou, quando não foi possível, com o caudal mínimo de extração. Esta análise conseguiu-se, uma vez que, existem medições das renovações horárias de todos os tipos de compartimento e a partir daí calcularam-se os caudais que entram pelas janelas e saem pela extração das instalações sanitárias e da cozinha. Por fim, comparou-se com os caudais-tipo mencionados na norma NP 1037-1.

Quadro 4.6 – Equilíbrio de caudais teoricamente esperado

Habitações	ensaios sem extração	Q [m ³ /h] compartimentos de serviço	=	Q [m ³ /h] compartimentos principais
Rua Godinho de Faria	porta aberta	34,9	? = ?	117,3
	porta fechada	9,8	? = ?	22,5
Avenida do Conde	não foram medidos todos os caudais necessários para se proceder à análise do fluxo de ar na habitação			
Avenida Dr. Domingos Gonçalves de Sá	porta aberta	198,3	? = ?	195,5
	porta fechada	116,5	? = ?	74,2
Rua de Nossa Sra. de Fátima	porta aberta	33,0	? = ?	47,7
	porta fechada	4,7	? = ?	9,0

Antes de mais, é de salientar que a soma dos caudais dos compartimentos de serviço é maior do que a soma dos caudais dos compartimentos principais na habitação de DGS, o que não seria suposto acontecer em qualquer um dos casos, pois o ar que sai nunca poderá ser superior ao que entra. No entanto, com as portas abertas pode-se afirmar que há algum equilíbrio de caudais. Já na situação com as portas fechadas a diferença é notória, traduzindo um desequilíbrio dos caudais. Verifica-se também um desequilíbrio na habitação, tendo as portas abertas, de GF, com a maior diferença, próxima dos 83m³/h. Na outra situação, é possível considerar a existência dum equilíbrio. Em NSF, a habitação comporta-se como se previa, tanto com as portas abertas como fechadas, a soma dos caudais dos compartimentos de serviço está perto da soma dos caudais dos compartimentos principais.

Tem de haver equilíbrio de caudais, pode não ser como se esperava teoricamente, mas o ar que entra num espaço tem de se equilibrar de alguma forma com o ar que sai.

No caso de DGS, é bastante complicado, se não mesmo impossível, com os ensaios realizados, fazer qualquer tipo de hipótese do fluxo de ar dentro da habitação. Trata-se duma fração de um volume aproximado de 350m^3 (o maior dos quatros casos de estudo), com três frentes e janelas cujas caixilharias são pouco permeáveis, permitindo a entrada/saída de ar com alguma facilidade. Apresenta, ainda uma configuração em planta algo “labiríntica”, com um corredor interno de grandes dimensões em forma de L e um outro mais pequeno, da mesma forma, de acesso aos quartos; tornando-se difícil perceber o trajeto que o ar percorre. A sala tendo duas frentes pode equilibrar-se isoladamente e estando ligada à cozinha haverá ainda a hipótese destes dois compartimentos conseguirem que os seus caudais se equilibrem. Numa outra parte, quase que como criando um outro equilíbrio de caudais nesta zona, temos os quartos e as instalações sanitárias, dois deles sendo quartos/*suites* supostamente equilibram-se por si só, o ar que entra pelas janelas do quarto sai pela extração da instalação sanitária correspondente. Por conseguinte, não se arrisca a traçar qualquer hipótese dum caminho que o ar faça para que os caudais se equilibrem.

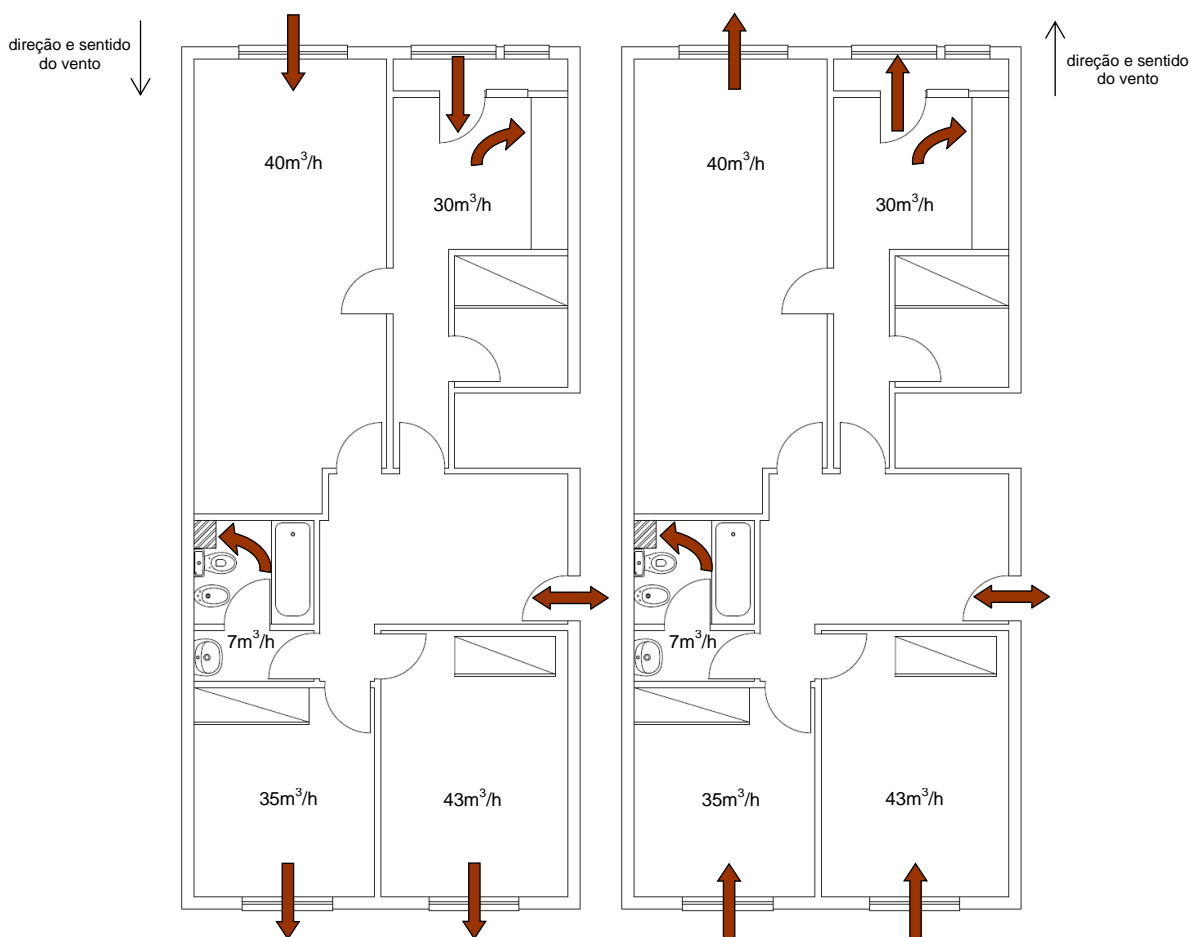


Figura 4.31 – Equilíbrio de caudais possível em GF

No caso de GF, é mais fácil encontrar algumas possibilidades para a existência do equilíbrio de caudais, uma vez que a habitação é mais pequena e fizeram-se medições em todos os compartimentos (excetuando um dos quartos, mas partindo do princípio de que funciona de forma

semelhante ao outro e conhecendo o seu volume, calculou-se o caudal através do número de renovações horárias registadas no quarto ao lado). Na Figura 4.31 estão esquematizadas duas hipóteses que dependem do sentido do vento, tendo por base o facto de a habitação ter duas frentes opostas e as janelas serem de correr já antigas (década de 80) com uma fraca estanquidade. Pela porta principal, de entrada na habitação, tanto pode ser admitido ou extraído ar, visto ser uma porta já com alguns anos e ter infiltrações de ar notórias. À partida, nos compartimentos de serviço extrai-se ar, na instalação sanitária é provável que saia através da grelha de ventilação um caudal baixo, mas na cozinha até pode entrar ou nem sair nada pela extração, havendo a possibilidade da cozinha funcionar como um compartimento principal face à porta envidraçada e à janela que tem dando acesso à marquise. O que se pensou foi que o fluxo de ar dentro da habitação atravessa toda a fração, ora num sentido, ora noutro, dependendo da direção e do sentido do vento no exterior, entrando por uma das fachadas e saindo pela outra e vice-versa, conseguindo assim haver equilíbrio de caudais.

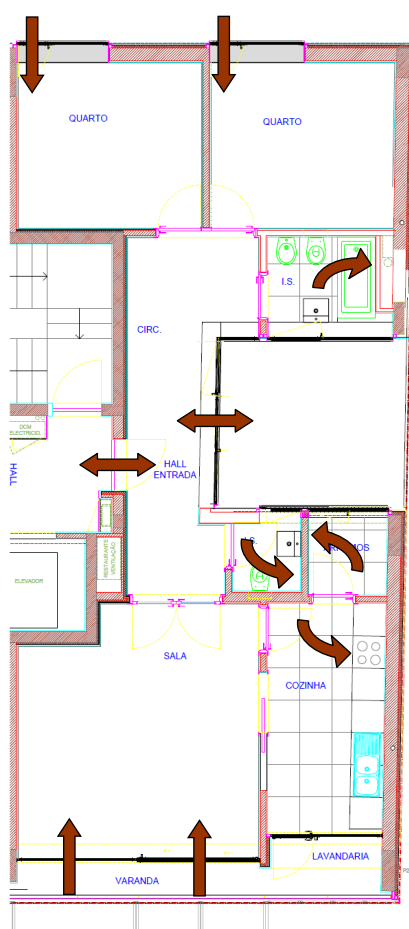


Figura 4.32 – Fluxo de ar possível em NSF

Em NSF, a soma dos caudais dos compartimentos de serviço está próxima da soma dos caudais dos compartimentos principais, tendo-se considerado, como já foi referido anteriormente, que a habitação se comporta como se previa, pois a consideração teórica verifica-se. Como se pode observar através da Figura 4.32 que ilustra um possível fluxo de ar dentro da habitação, existem sempre admissões/extrações de ar que se desconhecem, como é o caso da porta de entrada e dos vãos envidraçados que delimitam um dos lados do *hall* de entrada e do corredor de circulação.

Embora este caso de estudo seja o mais recente (datado de 2013) e, por isso, tenha uma porta principal e janelas com caixilharias estanques, com vedante, não se pode colocar de lado a hipótese de infiltrações de ar. Tendo em conta a fraca permeabilidade ao ar das janelas, nas instalações sanitárias e nos arrumos nem foram contabilizadas as respetivas janelas, pressupondo que estes compartimentos funcionam inteiramente cumprindo a sua função de compartimentos de serviço. Deste modo, confirmou-se que há equilíbrio de caudais como teoricamente esperado.

A norma NP 1037-1 apresenta como exigências mínimas de renovação de ar 1 renovação por hora nos compartimentos principais e 4 renovações por hora nos compartimentos de serviço. Pontualmente e a título indicativo, já se compararam alguns caudais obtidos nas instalações sanitárias e nas cozinhas com os valores normalizados. Para findar, compararam-se os resultados com os caudais-tipo referidos na legislação, estando estes expostos na Figura 4.33. Tendo em atenção o facto de esta norma ser apenas para ventilação natural, os valores são meramente indicativos e não têm de ser cumpridos. Aliás, o caudal-tipo, no caso da ventilação natural, deve ser entendido como um elemento de dimensionamento e não como um caudal a assegurar fisicamente, uma vez que as ações que influenciam a ventilação natural não são controláveis (NP 1037-1, 2002).

COMPARTIMENTO		VOLUME				
		$\leq 8 \text{ m}^3$	$> 8 \text{ m}^3$ $\leq 11 \text{ m}^3$	$> 11 \text{ m}^3$ $\leq 15 \text{ m}^3$	$> 15 \text{ m}^3$ $\leq 22 \text{ m}^3$	$> 22 \text{ m}^3$ $\leq 30 \text{ m}^3$
Cozinha e outros espaços para instalação de aparelhos a gás		(1)	17 l/s (60 m ³ /h)		25 l/s (90 m ³ /h)	33 l/s (120 m ³ /h)
Instalação sanitária	com banheira ou duche	13 l/s (45 m ³ /h)		17 l/s (60 m ³ /h)	25 l/s (90 m ³ /h)	(2)
	sem banheira nem duche	8 l/s (30 m ³ /h)	13 l/s (45 m ³ /h)	17 l/s (60 m ³ /h)	(2)	(2)
Espaços para lavandaria		8 l/s (30 m ³ /h)	13 l/s (45 m ³ /h)	17 l/s (60 m ³ /h)	(2)	(2)
(1) Volumes para os quais não é permitida a instalação de aparelhos a gás dos tipos A. Esta montagem é permitida para os aparelhos do tipo B desde que o local seja destinado apenas para alojamento deste (ver, também, a NP 1037-3). (2) Volumes pouco usuais em compartimentos deste tipo em relação aos quais se recomenda o dimensionamento caso a caso tendo em conta as exigências acima referidas.						

Volume (m ³)	≤ 30	> 30 ≤ 60	> 60 ≤ 90	> 90 ≤ 120	> 120 ≤ 150	> 150 ≤ 180	> 180 ≤ 210	> 210 ≤ 240
Caudal-tipo (l/s) (m ³ /h)	8 (30)	17 (60)	25 (90)	33 (120)	42 (150)	50 (180)	58 (210)	67 (240)

Figura 4.33 – Caudais-tipo a extrair nos compartimentos de serviço e a admitir nos compartimentos principais mencionados na norma NP 1037-1 (adaptado de NP 1037-1, 2002)

Embora se esperasse uma maior aproximação dos resultados aos caudais-tipo legislados, deve-se ter em conta que não se está perante habitações com um sistema de ventilação dimensionado pela norma. Em vez das grelhas de admissão de ar nas fachadas que só permitem o fluxo de ar no sentido pretendido, a entrada de ar é feita através de infiltrações de janelas e portas, que tanto podem funcionar como admissão ou como extração de ar, e em alguns casos de grelhas de ventilação.

As portas interiores não têm as folgas estipuladas, o que explica nos ensaios de porta fechada a diferença face aos caudais-tipo ser ainda maior. Verificou-se assim que apenas os três caudais obtidos nos ensaios DGS4.2.1., GF1.1. e AC1.1. são maiores do que os valores referenciados.

4.4. SÍNTESE CRÍTICA

Nos quatro casos de estudo existem diferentes sistemas de ventilação e nem sempre as habitações se comportaram como seria de esperar.

Em todos os gráficos construídos através dos ensaios realizados se obtiveram boas aproximações das linhas de tendência às respetivas nuvens de pontos, alcançando o coeficiente de determinação (R^2) valores próximos do máximo. Deste modo, demonstra-se que os ensaios foram bem-sucedidos, permitindo assim chegar a resultados válidos.

Salienta-se que os valores registados são pontuais, ou seja, são característicos duma determinada data, hora e das condições ambientes específicas desse instante, sendo portanto diferentes de outros ensaios realizados noutra altura no mesmo local. Na análise de resultados é importante ter presente o significado real das medições efetuadas.

Há imprevistos que surgem: no caso de estudo NSF, contava-se que a extração nas instalações sanitárias estivesse ligada, uma vez que o edifício é composto por um equipamento de extração mecânico e centralizado intermitente nas cozinhas e contínuo nas instalações sanitárias, mas isso não sucedeu, passando-se a admitir que aquelas instalações sanitárias se tratavam de compartimentos sem extração mecânica. Por mais preparados que estejam os ensaios e por mais revistos que sejam os planos de ensaio, vão surgindo novas condicionantes às quais há uma constante necessidade de adaptação.

Constatou-se que em todas as habitações, nos quartos, na situação da porta fechada, a taxa de renovação do ar era reduzida. Só com a porta aberta é que os quartos conseguiam ter uma renovação horária superior à do valor mínimo de taxa de renovação de ar, segundo o regulamento em vigor. As instalações sanitárias, com a porta fechada e sem extração, não cumprem o regulamento. Nas salas, com a porta fechada, a qualidade do ar interior também diminui acentuadamente, tendo sido nestes ensaios que se obtiveram os valores mais baixos, o que indicia que este parâmetro deveria ser melhorado, por exemplo, com a introdução de grelhas de ventilação nas fachadas e fazendo com que as portas interiores passem a ter as folgas estipuladas pelas normas (ou grelhas).

Surpreendentemente, nas cozinhas, com extração, permanecendo a porta aberta, o número de renovações horárias, e consequentemente o caudal, é menor do que com a porta fechada. Esta exceção repetiu-se nas quatro habitações estudadas, sendo necessário uma investigação caso a caso mais aprofundada para compreender claramente este fenómeno.

Avaliou-se se haveria alguma relação entre o número de renovações horárias e as áreas envidraçadas, não se tendo conseguido encontrar correlação evidente.

Analisou-se o fluxo de ar dentro das habitações, partindo do pressuposto teórico de que a soma dos caudais dos compartimentos de serviço (cozinha e instalações sanitárias) é igual à soma dos caudais dos compartimentos principais (sala e quartos). Como não se verificou esta igualdade em todas as habitações, avançou-se para um estudo tendo por base a disposição dos compartimentos, ou seja, examinando-se as plantas dos edifícios de habitação.

Para estudos futuros, com o objetivo de se ficar a perceber melhor como o ar circula dentro das habitações e de se conhecer como é que existe equilíbrio de caudais, talvez fosse interessante completar estes ensaios prosseguindo com outros, onde fosse possível injetar um gás colorido ou marcar o ar para se observar qual o trajeto que realiza.

Foi surpreendente como os valores obtidos se distanciaram da norma NP 1037-1, sendo muito mais baixos. Mesmo não sendo habitações com um sistema de ventilação dimensionado pela norma, seria de esperar uma maior aproximação dos resultados aos caudais-tipo legislados.

5

CONCLUSÕES

5.1. CONCLUSÕES PRINCIPAIS

O trabalho desenvolvido permitiu aprofundar o conhecimento dos sistemas de ventilação correntemente utilizados em Portugal nos edifícios de habitação coletiva. O trabalho experimental que foi realizado permitiu ainda estimar o número de renovações horárias de ar e os respetivos caudais em diversos compartimentos com diferentes condições fronteira e procurou-se compreender e interpretar os resultados em termos de fluxo do ar dentro dos diferentes edifícios.

É de salientar que neste estudo experimental, a técnica de ensaio utilizada conduz a características dum determinado instante, ou seja, o mesmo ensaio realizado noutra altura conduziria a resultados diferentes. No entanto, nos ensaios realizados neste trabalho, procurou-se sempre garantir situações de temperatura do ar exterior e da velocidade do vento dentro de limites normais, de modo a minimizar o impacto das condições exteriores nos resultados do ensaio. Desta forma, os resultados obtidos podem ser considerados como representativos do comportamento típico destes edifícios.

A realização desta dissertação teve como objetivo principal a avaliação do funcionamento dos sistemas de ventilação implementados em quatro edifícios, construídos em quatro décadas diferentes. Para isso, foi desenvolvida uma campanha experimental para determinação da taxa de renovação horária do ar, utilizando o Método do Gás Traçador e a Técnica do Declive. Os resultados obtidos nos ensaios serviram de suporte a uma análise crítica de caracterização dos sistemas de ventilação. Procurou-se relacionar o número de renovações horárias com as áreas envidraçadas, investigou-se como se comporta o fluxo de ar dentro das habitações, estabeleceram-se comparações entre as habitações e avaliaram-se os seus sistemas de ventilação.

As conclusões mais significativas retiradas dos estudos efetuados são as seguintes:

- Apesar de a amostra ser reduzida, pode-se afirmar que os sistemas de ventilação, em Portugal, são predominantemente naturais e mistos;
- Os edifícios em estudo ocupam uma escala temporal de 40 anos, sendo, por isso, bastante diferentes, mas a estratégia de ventilação encontrada é idêntica. Baseando-se na abertura de janelas para admitir ar, não existe qualquer dispositivo de admissão de ar nos compartimentos principais. Raramente há sistemas de ventilação contínua, os sistemas de extração são maioritariamente mecânicos, acionáveis com mecanismos de ligar e desligar (*ON/OFF*) ou centralizados com períodos de funcionamento;
- Das campanhas experimentais, no que diz respeito às renovações horárias e aos caudais obtidos, resultam as seguintes conclusões:

- DGS tem o sistema de ventilação mais forte;
 - As extrações de NSF, o mais recente, e de GF, o mais antigo, são próximas, a nível de quantidade;
 - Os quartos, em todas as habitações, com a porta fechada, ficam com a qualidade do ar no seu interior reduzida, obtendo um número de renovações horárias no mínimo de 0,14 e no máximo de 0,51, nem todos atingindo o valor mínimo de taxa de renovação de ar em vigor;
 - As instalações sanitárias, com a porta fechada e sem extração têm no mínimo 0,09 e no máximo 0,21 renovações horárias, também não cumprem o regulamento;
 - Às salas, com a porta fechada, pertencem os resultados mais baixos, variando entre 0,03 h⁻¹ e 0,18 h⁻¹;
 - A diferença entre os resultados mantendo a porta aberta e os registos fechando a porta nas salas aumenta de uma forma inversa à data de construção dos edifícios;
 - Surpreendentemente, nas cozinhas das quatro habitações estudadas, com extração, mantendo a porta aberta, o número de renovações horárias e consequentemente o caudal é menor do que fechando a porta. Diminuindo o volume, aumenta-se a diferença de pressões, que é traduzida por uma maior entrada de ar, auxiliada pela sucção do ar através do exaustor e ainda por entradas de ar existentes;
- Os resultados nem sempre atingem o número mínimo de 0,4 renovações horárias do Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH) e em comparação com os caudais de outras normas distanciam-se, algumas vezes, significativamente, sendo os valores obtidos muito mais baixos, o que seria de esperar, uma vez que, os edifícios não foram projetados para cumprirem tal regulamentação e normalização. Estes factos podem ser devidos às habitações mais antigas não estarem preparadas para o que é atualmente exigido, às mais novas não funcionarem como se previa e aos sistemas de ventilação destes edifícios não terem sido dimensionados seguindo a legislação em vigor;
- O pressuposto teórico de que a soma dos caudais dos compartimentos de serviço (cozinha e instalações sanitárias) é igual à soma dos caudais dos compartimentos principais (sala e quartos) não foi verificado em todos os casos de estudo;
- Não se identificou qualquer relação entre o número de renovações horárias e as áreas envidraçadas;
- Verificou-se uma maior estanquidade no edifício mais recente, ou seja, confirmou-se que as caixilharias mais recentes são mais estanques.

Portanto, é possível fazer-se o seguinte balanço: a realidade da ventilação de todas as habitações está longe dos valores legislados, nem todos os compartimentos atingem as 0,4 renovações por hora e não há nenhum edifício dos quatro casos de estudo que esteja dimensionado consoante o regulamento.

Com base nestes edifícios e generalizando, a admissão de ar em Portugal está completamente dependente da abertura das janelas.

Embora não seja comum em muitos edifícios, a ventilação deve ser geral e permanente. Assim como também é raro encontrar um sistema de ventilação, natural ou mecânica, que inclua grelhas de admissão de ar. A admissão de ar aos quartos e salas (compartimentos principais) é imprescindível e deve ser concretizada, por exemplo, através de grelhas auto-reguláveis.

Assim, chama-se a atenção para alguns princípios gerais que devem ser tidos em consideração na conceção dos sistemas de ventilação (mistos) das habitações:

- ser geral e permanente;
- os compartimentos principais terem aberturas permanentes (por exemplo: auto-reguláveis) para admissão de ar;
- os compartimentos de serviço disporem de sistemas de extração;
- o caudal de ventilação ser o necessário para proporcionar um equilíbrio entre a eficiência energética, a qualidade do ar interior e o risco de condensação.

Este equilíbrio, para a realidade climática portuguesa, exige um número de 0,7 a 0,8 renovações por hora (Freitas, 2008). De acordo com a regulamentação atual, em Portugal, as renovações horárias devem ser sempre superiores a $0,4 \text{ h}^{-1}$.

5.2. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

O vasto campo de investigação no âmbito desta dissertação não se esgotou com a contribuição dos resultados obtidos.

Concretamente para este trabalho poder-se-ia continuar a analisar e aprofundar o estudo, sendo possível traçar alguns caminhos exequíveis:

- No caso particular da análise do fluxo de ar dentro das habitações, para se perceber como os caudais se equilibram, seria interessante realizar-se um ensaio em que se conseguisse marcar o ar, ou injetar um gás colorido, para ser possível observar o seu trajeto;
- Investigar em que condições críticas é que se dá a inversão do fluxo de ar;
- Caracterizar os componentes que possam incorporar um sistema de ventilação;
- Propor eventuais medidas de melhoria a implementar nos quatro casos de estudo;
- Elaborar um protocolo de ensaios de ventilação utilizando o Método do Gás Traçador e a Técnica do Declive.

Para o desenvolvimento futuro desta área, teria interesse concretizar estudos experimentais cuja utilidade fosse fazer um levantamento das condições reais de ventilação dos edifícios de habitação portugueses, até dividindo por tipologias de habitações, considerando, por exemplo, apartamentos com dimensões mais pequenas e outros maiores. Devendo estes estudos alargarem-se ao território nacional, para assim se ganhar a vantagem de se analisarem várias zonas com diferentes climas e características locais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Afonso, C. (1986). *Modelização do Movimento do ar no interior de edifícios através do recurso ao método do gás traçador*. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- Afonso, C. (1989). *Uma metodologia para a caracterização de fluxos de ar multizona em edifícios*. Dissertação de Doutoramento, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- Agência Portuguesa do Ambiente, Laboratório Referência do Ambiente (2009). *Qualidade do ar em espaços interiores*. Um Guia Técnico (Agência Portuguesa do Ambiente), Março 2009, Amadora.
- Allard, F. (1998). *Natutral ventilation in buildings – a design handbook*. James &James (Science Publishers) Ltd, London.
- Almeida, R. (2011). *Avaliação do desempenho higrotérmico do parque escolar reabilitado*. Dissertação de Doutoramento, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- Amaral, M. (2008). *Sistemas de ventilação natural e mistos em edifícios de habitação*. Dissertação de Doutoramento, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- ASHRAE 62.1 (2004). *Ventilation for acceptable indoor air quality*. ASHRAE, Atlanta, United States of America.
- ASHRAE Research Strategic Plan 2010-2015. *Navigation for a Sustainable Future*. ASHRAE, Atlanta, United States of America.
- ASTM E 741-00 (2000). *Standard test method for determining air change in a single zone by means of a tracer gas dilution*. American Society for Testing Materials, West Conshohocken, United States of America.
- ASTM E 779-03 (2003). *Standard test method for determining air leakage rate by fan pressurization*. American Society for Testing Materials, West Conshohocken, United States of America.
- Avgelis, A., Papadopoulos, A. (2004). *Indoor air quality guidelines and standards – A state of art review*. International Journal of Ventilation, vol. 3, dezembro/2004, páginas 267-278, University of Warwick Science Park, United Kingdom.

Awbi, H. (2003). *Ventilation of buildings (second edition)*. Spon Press, London.

Bluyssen, P. *et al* (1996). *European indoor air quality audit project in 56 office buildings*. Indoor Air, Vol. 6, páginas 221-238.

CEN EN 13829 (2000). *Thermal performance of buildings. Determination of air permeability of buildings. Fan pressurization method*. European Committee for Standardization, Brussels.

CEN/TR 14788 (2006). *Ventilation for buildings. Design and dimensioning of residential ventilation systems*. European Committee for Standardization, Brussels.

Comissão de Coordenação da Região do Norte e Universidade do Porto (2000). *Rede de edifícios energeticamente eficientes. Conceitos e Orientações*. Fundação Gomes Teixeira, Projeto Redene, Porto.

Concannon, P. (2002). *Residential ventilation*. Technical Note AIVC 57, Air Infiltration and Ventilation Center. Brussels.

Despacho n.º15793E (2013). Diário da República, 2.ª série – N.º 234, Despacho (extrato) n.º 15793-E/2013, dezembro, Lisboa.

Despacho n.º15793I (2013). Diário da República, 2.ª série – N.º 234, Despacho (extrato) n.º 15793-I/2013, dezembro, Lisboa.

Despacho n.º15793K (2013). Diário da República, 2.ª série – N.º 234, Despacho (extrato) n.º 15793-K/2013, dezembro, Lisboa.

Dietz, R., Cote, E. (1982). *Air infiltration measurements in a home using a convenient perfluorocarbon tracer technique*. Environment International, Volume 8, 1982, páginas 419-433, Elsevier.

DL n.º118 (2013). Diário da República, 1.ª série – N.º 159, Decreto-Lei n.º 118/2013, agosto, Lisboa.

Dorer, V. *et al* (2000). *Validation tests for a passive tracer gas technique*. 8th Roomvent Conference, 2000, Reading, United Kingdom.

Etheridge, D., Sandberg, M. (1996). *Building ventilation: theory and measurement*. John Wiley & Sons Chichester, United States of America.

Fanger, P. (2005). *What is IAQ?*. 10th Indoor Air Conference, 2005, Beijing, China.

Finteiro, A. (1998). *Diagnóstico das condições de ventilação em edifícios de habitação*. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

Flanders, S. (1995). *Fan pressurization measurements by four protocols*. 16th AIVC Conference, 1995, Palm Springs, United States of America.

Freitas, V., Pinto, M., Viegas, J. (2007). *Qualidade do ambiente interior em edifícios de habitação*. Engenharia e Vida, setembro/2007, páginas 34-43, Sopagal/Beproof, Lisboa.

Freitas, V. (2008). *Recomendações práticas para implementação de sistemas de ventilação mistos em edifícios de habitação*. Documento consultado a partir dos conteúdos da Unidade Curricular de Patologia e Reabilitação de Edifícios da FEUP. Ano letivo 2014/2015.

Freitas, V. (2008). *Ventilação de edifícios de habitação*. Documento consultado a partir dos conteúdos da Unidade Curricular de Patologia e Reabilitação de Edifícios da FEUP. Ano letivo 2014/2015.

Freitas, V. coordenação (2012). *Manual de apoio ao projecto de reabilitação de edifícios antigos*. Ordem dos Engenheiros da Região Norte, Porto.

Haberda, F., Trepte, L. (1989). *Minimum ventilation rates and measures for controlling indoor air quality*. Technical Note 26, Annex 9-AIVC, IEA-ECBCS, Air Infiltration and Ventilation Centre, Coventry, United Kingdom.

Innova (1997). 1312 *Photoacoustic multi-gas monitor – Instruction manual*. Innova, Denmark.

ISO 12569 (2012). *Thermal performance of buildings and materials – Determination of specific airflow rate in buildings – Tracer gas dilution method*. International Organization for Standardization, Genève, Switzerland.

ISO/DIS 16000-8 (2006). *Indoor air – Determination of local mean ages of air in buildings for characterizing ventilation conditions*. International Organization for Standardization, Genève, Switzerland.

Knijnik, D. (2011). *Aplicação da norma ASHRAE 90.1 e da certificação LEED em edificação comercial*. Monografia de Licenciatura, Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Laporthe S., Virgone, J., Castanet, S. (2001). *A comparative study of two tracer gases: SF₆ and N₂O*. Building and Environment, Volume 36, abril/2001, páginas 313-320, Centre de Thermique de Lyon, Cedex, France.

Lucas, P. (2011). *Ventilação natural em edifícios*. Relatório de Estágio de Licenciatura, Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Instituto Politécnico da Guarda.

Maldonado, E., Woods, J. (1983). *A Method to select locations for indoor air quality sampling*. Building and Environment, Volume 18, 1983, páginas 171-180, Elsevier.

NORDTEST (1982). *Rate of ventilation in different parts of a building*. NT BUILD 232, novembro/1982, Organization for testing in te nordic conutries, Espoo, Finland.

NORDTEST (1994). *Ventilation. Flow rate, total effective – by single zone approximation*. NT VVS 105, 1994, Organization for testing in te nordic conutries, Espoo, Finland.

NORDTEST (1997). *Ventilation. Local mean age of air. Homogeneous emission techniques*. NT VVS 118, 1997, Organization for testing in te nordic conutries, Espoo, Finland.

NP 1037-1 (2002). *Ventilação e evacuação dos produtos de combustão dos locais com aparelhos a gás*. Parte 1: Edifícios de habitação. Ventilação natural. Instituto Português da Qualidade, Monte da Caparica.

Pinto, A. (2006). *Ventilação mecânica de edifícios de habitação*. Relatório, NCI (LNEC), 2006, Lisboa.

Portaria n.º349A (2013). Diário da República, 1ª série – N.º 232, Portaria n.º 349-A/2013, novembro, Lisboa.

Portaria n.º349B (2013). Diário da República, 1ª série – N.º 232, Portaria n.º 349-B/2013, novembro, Lisboa.

Portaria n.º349C (2013). Diário da República, 1ª série – N.º 233, Portaria n.º 349-C/2013, dezembro, Lisboa.

Portaria n.º349D (2013). Diário da República, 1ª série – N.º 233, Portaria n.º 349-D/2013, dezembro, Lisboa.

Portaria n.º353A (2013). Diário da República, 1ª série – N.º 235, Portaria n.º 353-A/2013, dezembro, Lisboa.

RCCTE (2006). Diário da República, I Série – A, Decreto-Lei n.º 80/2006, abril, Lisboa.

REH (2013). *Síntese da regulamentação aplicável (Decreto-Lei, Portaria e Despachos)*. Instituto de Investigação e Desenvolvimento Tecnológico em Ciências da Construção, Universidade de Coimbra.

REHVA (2010). *Ambiente interior e eficiência energética nas escolas*. Ingenium Edições, Lda., Manual REHVA n.º13, Lisboa.

RGEU (1951). Diário do Governo, Decreto-Lei n.º 38 382, agosto, Lisboa

Rodrigues, M. (2014). *Evolução da regulamentação térmica de edifícios – Estudo comparativo*. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

Rodrigues, S. (2014). *Aplicação do ensaio com porta ventiladora à avaliação da permeabilidade ao ar de elementos construtivos*. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

Roulet, C. (2008). *Ventilation and airflow in buildings: methods for diagnosis and evaluation*. Earthscan, London.

Roulet, C., Compagnon, R. (1989). *Multizone tracer gas infiltration measurements – Interpretation algorithms for non-isothermal cases*. Building and Environment, Volume 24, 1989, páginas 221-227, Elsevier, United Kingdom.

Roulet, C., Sekhar, S., Tham, K., Zuraimi, M. (2006). *Tracer gas measurement of airflow rates in spaces with several air-handling units, recirculation, or large time constants*. HVAC&R Research, volume 12, número 3, julho/2006, páginas 447-496, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers.

Roulet, C., Vandaale, L. (1991). *Air flow patterns within buildings. Measurement techniques*. Technical Note 34, Annex 5-AIVC, IEA-ECBCS, Air Infiltration and Ventilation Centre, Coventry, United Kingdom.

RSECE (2006). Diário da República, I Série – A, Decreto-Lei n.º 79/2006, abril, Lisboa.

RTHS (1951). Diário da República, II Série N.º38, Despacho 41/MES/85, fevereiro, Lisboa.

Sherman, M. (1989). *Analysis of errors associated with passive ventilation measurement techniques*. Building and Environment, Volume 24, 1989, páginas 131-139, Elsevier, United Kingdom.

Silva, F. (2004). *Ventilação natural de edifícios*. Dissertação de Doutoramento, elaborada no LNEC, Universidade Técnica de Lisboa.

Silva, G. (2000). *Estudo de emissões de COVs por materiais usados em interiores de edifícios*. Dissertação de Doutoramento, Faculdade de Ciências da Universidade do Porto.

Stymne, H., Eliasson, A. (1991). *A new passive tracer gas techniques for ventilation measurements*. 12th AIVC Conference, 1991, Ottawa, Canada.

Stymne, H., Sandberg, M., Boman, C. (2002). *Tracer gas techniques for measurements of ventilation in multi-zone buildings. A review*. 9th Indoor Air Conference, 2002, Monterey, United States of America.

Tip-vent (2001). *Towards improved performances of mechanical ventilation systems*. Tip-vent Source Book, EU programme: Non Nuclear Energy Programme Joule IV.

Viegas, J. (1995). *Ventilação natural de edifícios de habitação*. LNEC, Lisboa.

Viegas, J. (2000). Contribuição da ventilação para a qualidade do ar interior em edifícios. In *Seminário – Ambiente em edifícios urbanos*, LNEC, Lisboa.

Walker, R., White, M. (1995). *The passive gas tracer method for monitoring ventilation rates in buildings*. Information Paper 13/95, janeiro/1995, IHS BRE Press,

http://www.testo.pt/pt/home/produtos/ventilacao/ventilation_and_air_conditioning_systems_overview_page_mastercontent.jsp março 2014

http://www.testo.pt/pt/home/produtos/anemometros_1/anemometros.jsp março 2014

<http://www.pce-medidores.com.pt/medicoes/medidores-de-caudal.htm> março 2014

<http://www.fluke.com/fluke/ptpt/home/default> abril 2014

<http://www.fluke.com/fluke/ptpt/products/> abril 2014

<http://www.fluke.com/fluke/ptpt/HVAC-IAQ-Tools/Air-Testers/fluke-975.htm?PID=56156> abril 2014

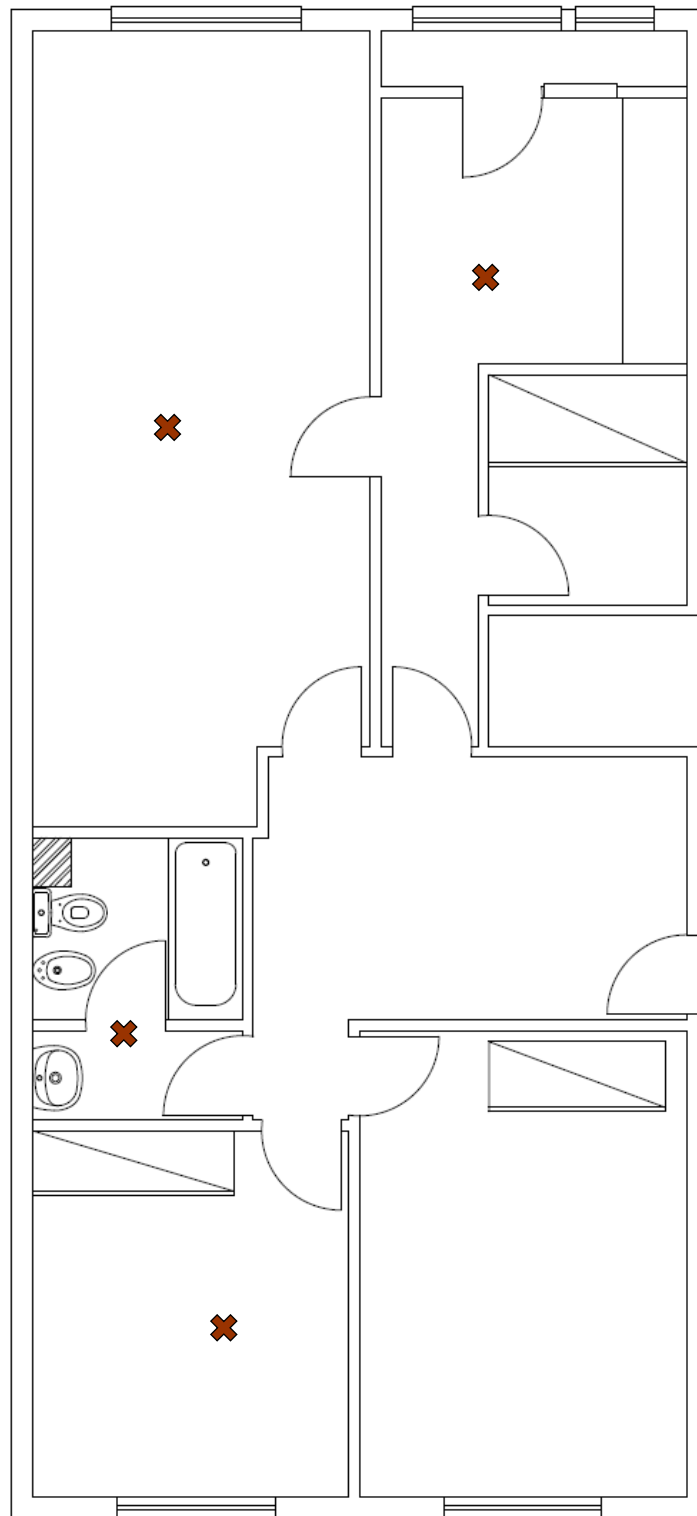
<http://www2.adene.pt/pt-pt/SubPortais/SCE/PerguntasRespostas/Paginas/welcome.aspx> novembro 2014

http://lfengenharia.pt/?page_id=45 dezembro 2014

http://www.solgas.pt/eficiencia_energetica/auditoria_qualidade_ar_interior dezembro 2014

ANEXOS

ANEXO I ENSAIO GF



PLANO DE ENSAIO – GF

1. Quarto

1.1. porta aberta

1.2. porta fechada

Nota: medir a velocidade do vento perpendicular e paralelo à fachada

Área: 10,3m² Área envidraçada: 2,0m² Área opaca: 6,1m²

Pé-direito: 2,6m Volume: 26,7m³

Nº de janelas: 1 Orientação: O 291° Tipo de sistema de oclusão: estores exteriores

2. Instalação sanitária

2.1. porta aberta

2.2. porta fechada

Área: 5,3m² Área envidraçada: 0m² Área opaca: 0m²

Pé-direito: 2,6m Volume: 13,7m³ Nº de janelas: 0

3. Sala

3.1. porta aberta

3.2. porta fechada

Nota: medir a velocidade do vento perpendicular e paralelo à fachada

Área: 24,1m² Área envidraçada: 2,0m² Área opaca: 6,5m²

Pé-direito: 2,6m Volume: 62,2m³

Nº de janelas: 1 Orientação: E 98° Tipo de sistema de oclusão: estores exteriores

4. Cozinha (considerando também os arrumos)

4.1. extração desligada

4.1.1. porta aberta

4.1.2. porta fechada

4.2. extração ligada

4.2.1. porta aberta

4.2.2. porta fechada

Nota: medir a velocidade do ar na conduta, a dimensão da grelha do exaustor e a velocidade do vento perpendicular e paralelo à fachada

Área: 13,8m² Área envidraçada: 2,3m² Área opaca: 5,2m²

Pé-direito: 2,6m Volume: 35,1m³

Nº de janelas: 1, 1 vão envidraçado fixo e 1 porta de vidro de acesso à marquise

Orientação: SE 129° Tipo de sistema de oclusão: nenhum

Atenção: fora do compartimento onde se estão a realizar as medições é conveniente que as condições sejam sempre as mesmas: janelas fechadas, estores exteriores totalmente abertos, portas todas fechadas ou todas abertas dependendo da situação do ensaio, exceto na instalação sanitária onde existe uma porta no interior que separa a zona do lavatório da restante, esta mantém-se sempre aberta e na cozinha em que permanece aberta a porta de acesso aos arrumos e fechada a porta de acesso à marquise, no caso do sistema de ventilação mecânico na cozinha permanecerá desligado quando não o acionarmos, a grelha fixa (aberta/fechada) de ventilação natural nas instalações sanitárias ficará aberta.

Em todos os compartimentos, durante os ensaios, com o *data logger* HOBO U12 medir a temperatura e humidade relativa, posteriormente registar a média e o desvio padrão destes dois parâmetros em cada compartimento.

FICHA DE ENSAIO

Determinação dos caudais de ventilação em edifícios de habitação através da técnica dos gases traçadores

código do ensaio: GF1.1.

Data: 29.04.2014

Hora de início: 09:57 Hora de fim: 10:29

Condições atmosféricas: bastante nublado, temperatura de 18°C e humidade relativa de 60%

Pé-direito: 2,6m

Área: 10,3m²

Volume: 26,7m³

Área envidraçada: 2,0m²

Área opaca: 6,1m²

Nº de janelas: 1 Orientação: O 291°

Extração mecânica: não tem

Referências normativas:

ISO 12569 (2012) e ASTM E741-00 (2000)

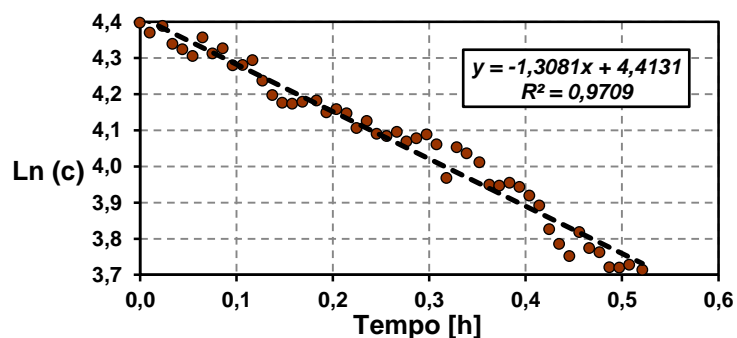
Foto



Medições

Fluke 975 AirMeter™ (no exterior)	velocidade do vento [m/s]	início	fim
	perpendicular à fachada	0,2	
	paralelo à fachada	0,2	
data logger HOBO U12 (no interior de cada compartimento)		média ± desvio padrão	
	temperatura [°C]	20 ± 0,04	
	humidade relativa [%]	60 ± 0,29	
condutas de extração de ar	dimensões da tubagem/grelha [m]	_____	
	velocidade do ar [m/s]	_____	
	caudal [m ³ /h]	_____	

Resultados



R ²	0,97
RPH [h ⁻¹]	1,31
Q [m ³ /h]	34,9

Observações:

FICHA DE ENSAIO

Determinação dos caudais de ventilação em edifícios de habitação através da técnica dos gases traçadores

código do ensaio: GF1.2.

Data: 29.04.2014

Hora de início: 10:31 Hora de fim: 11:05

Condições atmosféricas: bastante nublado, temperatura de 20°C e humidade relativa de 58%

Pé-direito: 2,6m

Área: 10,3m²

Volume: 26,7m³

Área envidraçada: 2,0m²

Área opaca: 6,1m²

Nº de janelas: 1 Orientação: O 291°

Extração mecânica: não tem

Referências normativas:

ISO 12569 (2012) e ASTM E741-00 (2000)

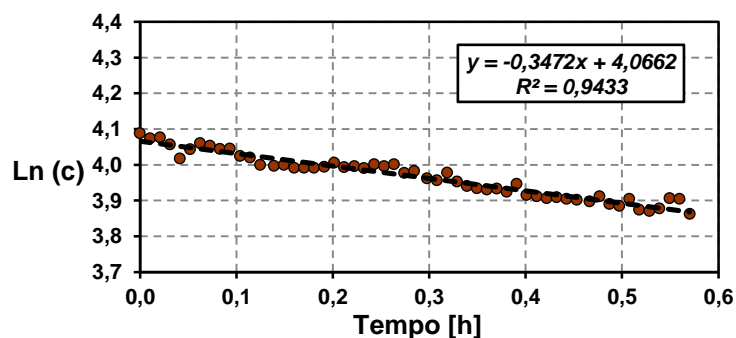
Foto



Medições

Fluke 975 AirMeter™ (no exterior)	velocidade do vento [m/s]	início	fim
	perpendicular à fachada		0,2
	paralelo à fachada		0,3
data logger HOBO U12 (no interior de cada compartimento)		média ± desvio padrão	
	temperatura [°C]	20 ± 0,04	
	humidade relativa [%]	60 ± 0,43	
condutas de extração de ar	dimensões da tubagem/grelha [m]	_____	
	velocidade do ar [m/s]	_____	
	caudal [m ³ /h]	_____	

Resultados



R ²	0,94
RPH [h ⁻¹]	0,35
Q [m ³ /h]	9,3

Observações:

Houve necessidade de se injetar novamente gás, neste compartimento, antes de se realizar o ensaio com as portas fechadas, uma vez que não existia gás suficiente para se inicializar mais um ensaio.

FICHA DE ENSAIO

Determinação dos caudais de ventilação em edifícios de habitação através da técnica dos gases traçadores

código do ensaio: GF2.1.

Data: 29.04.2014

Hora de início: 11:16 Hora de fim: 11:56

Condições atmosféricas: bastante nublado, temperatura de 20°C e humidade relativa de 58%

Pé-direito: 2,6m

Área: 5,3m²

Volume: 13,7m³

Área envidraçada: 0m²

Área opaca: 0m²

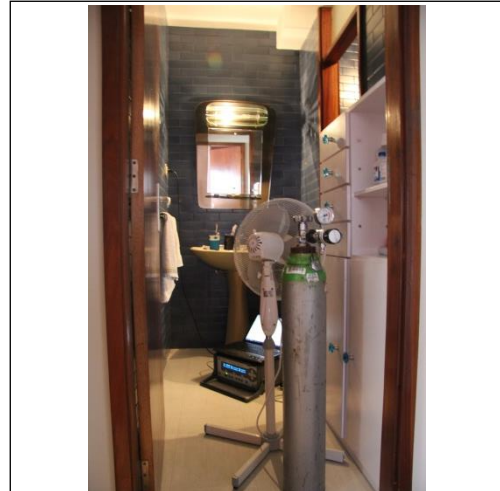
Nº de janelas: 0

Extração mecânica: não tem, tem uma grelha

Referências normativas:

ISO 12569 (2012) e ASTM E741-00 (2000)

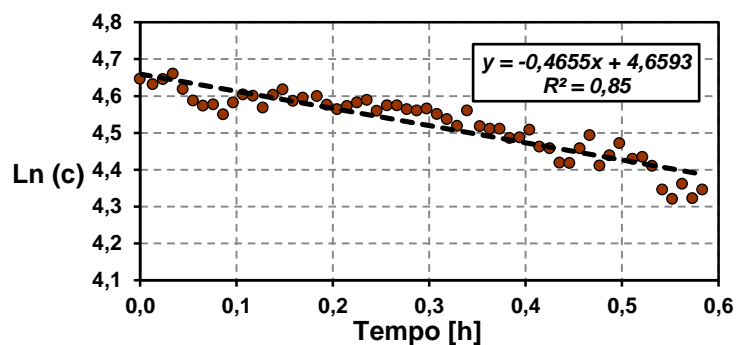
Foto



Medições

Fluke 975 AirMeter™ (no exterior)	velocidade do vento [m/s]	início	fim
	perpendicular à fachada	_____	_____
	paralelo à fachada	_____	_____
data logger HOBO U12 (no interior de cada compartimento)		média ± desvio padrão	
	temperatura [°C]	20 ± 0,05	
	humidade relativa [%]	62 ± 0,22	
condutas de extração de ar	dimensões da tubagem/grelha [m]	_____	
	velocidade do ar [m/s]	_____	
	caudal [m³/h]	_____	

Resultados



R^2	0,85
RPH [h ⁻¹]	0,47
Q [m³/h]	6,4

Observações:

Existe uma grelha fixa (aberta/fechada) de ventilação natural que funciona como extração.

FICHA DE ENSAIO

Determinação dos caudais de ventilação em edifícios de habitação através da técnica dos gases traçadores

código do ensaio: GF2.2.

Data: 29.04.2014

Hora de início: 11:56 Hora de fim: 12:33

Condições atmosféricas: bastante nublado, temperatura de 21°C e humidade relativa de 53%

Pé-direito: 2,6m

Área: 5,3m²

Volume: 13,7m³

Área envidraçada: 0m²

Área opaca: 0m²

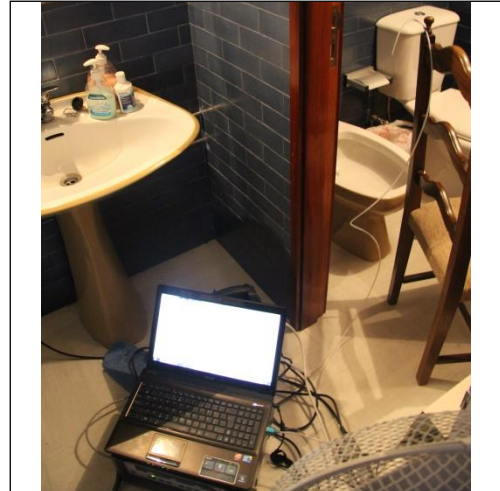
Nº de janelas: 0

Extração mecânica: não tem, tem uma grelha

Referências normativas:

ISO 12569 (2012) e ASTM E741-00 (2000)

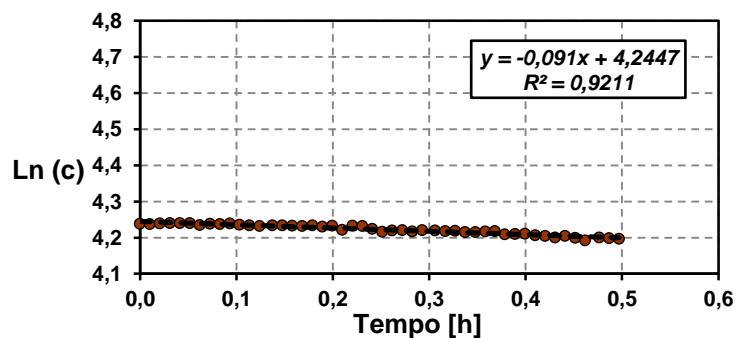
Foto



Medições

Fluke 975 AirMeter™ (no exterior)	velocidade do vento [m/s]	início	fim
	perpendicular à fachada	_____	_____
	paralelo à fachada	_____	_____
data logger HOBO U12 (no interior de cada compartimento)		média ± desvio padrão	
	temperatura [°C]	20 ± 0,07	
	humidade relativa [%]	63 ± 0,35	
condutas de extração de ar	dimensões da tubagem/grelha [m]	_____	
	velocidade do ar [m/s]	_____	
	caudal [m ³ /h]	_____	

Resultados



R ²	0,92
RPH [h ⁻¹]	0,09
Q [m ³ /h]	1,2

Observações:

Existe uma grelha fixa (aberta/fechada) de ventilação natural que funciona como extração.

FICHA DE ENSAIO

Determinação dos caudais de ventilação em edifícios de habitação através da técnica dos gases traçadores

código do ensaio: GF3.1.

Data: 29.04.2014

Hora de início: 14:00 Hora de fim: 14:56

Condições atmosféricas: bastante nublado, temperatura de 22°C e humidade relativa de 58%

Pé-direito: 2,6m

Área: 24,1m²

Volume: 62,2m³

Área envidraçada: 2,0m²

Área opaca: 6,5m²

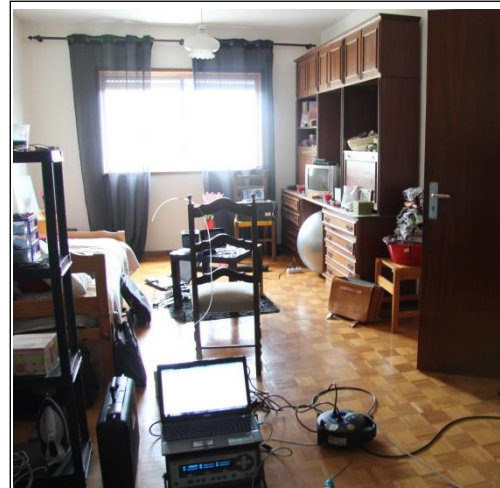
Nº de janelas: 1 Orientação: E 98°

Extração mecânica: não tem

Referências normativas:

ISO 12569 (2012) e ASTM E741-00 (2000)

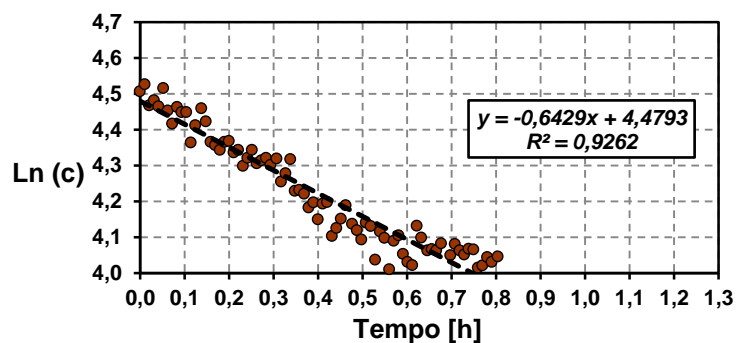
Foto



Medições

Fluke 975 AirMeter™ (no exterior)	velocidade do vento [m/s]	início	fim
	perpendicular à fachada		0,3
	paralelo à fachada		0,4
data logger HOBO U12 (no interior de cada com- partimento)		média ± desvio padrão	
	temperatura [°C]	21 ± 0,07	
	humidade relativa [%]	62 ± 0,13	
condutas de extração de ar	dimensões da tubagem/grelha [m]	_____	
	velocidade do ar [m/s]	_____	
	caudal [m ³ /h]	_____	

Resultados



R ²	0,93
RPH [h ⁻¹]	0,64
Q [m ³ /h]	40,0

Observações:

FICHA DE ENSAIO

Determinação dos caudais de ventilação em edifícios de habitação através da técnica dos gases traçadores

código do ensaio: GF3.2.

Data: 29.04.2014

Hora de início: 12:47 Hora de fim: 14:00

Condições atmosféricas: bastante nublado, temperatura de 22°C e humidade relativa de 53%

Pé-direito: 2,6m

Área: 24,1m²

Volume: 62,2m³

Área envidraçada: 2,0m²

Área opaca: 6,5m²

Nº de janelas: 1 Orientação: E 98º

Extração mecânica: não tem

Referências normativas:

ISO 12569 (2012) e ASTM E741-00 (2000)

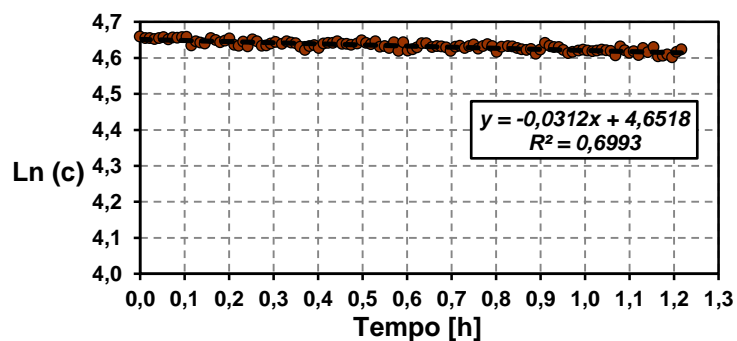
Foto



Medições

Fluke 975 AirMeter™ (no exterior)	velocidade do vento [m/s]	início	fim
	perpendicular à fachada	0,4	
	paralelo à fachada	0,2	
data logger HOBO U12 (no interior de cada compartimento)		média ± desvio padrão	
	temperatura [°C]	21 ± 0,02	
	humidade relativa [%]	63 ± 0,22	
condutas de extração de ar	dimensões da tubagem/grelha [m]	_____	
	velocidade do ar [m/s]	_____	
	caudal [m ³ /h]	_____	

Resultados



R ²	0,70
RPH [h ⁻¹]	0,03
Q [m ³ /h]	1,9

Observações:

FICHA DE ENSAIO

Determinação dos caudais de ventilação em edifícios de habitação através da técnica dos gases traçadores

código do ensaio: GF4.1.1.

Data: 29.04.2014

Hora de início: 15:04 Hora de fim: 15:37

Condições atmosféricas: bastante nublado, temperatura de 21°C e humidade relativa de 63%

Pé-direito: 2,6m

Área: $11,4 + 2,4 = 13,8\text{m}^2$

Volume: $35,1\text{m}^3$

Área envidraçada: $2,3\text{m}^2$

Área opaca: $5,2\text{m}^2$

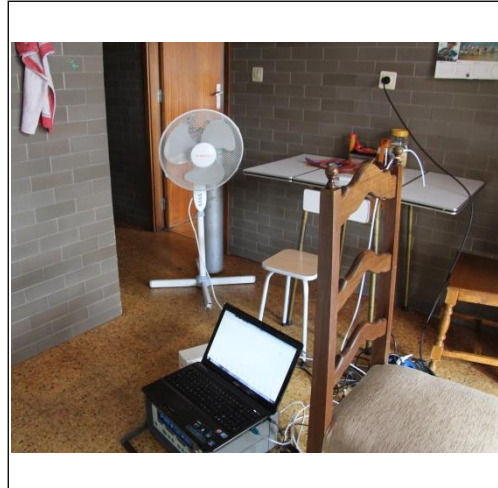
Nº de janelas: 1 + 1 porta Orientação: SE 129°

Extração mecânica: exaustor

Referências normativas:

ISO 12569 (2012) e ASTM E741-00 (2000)

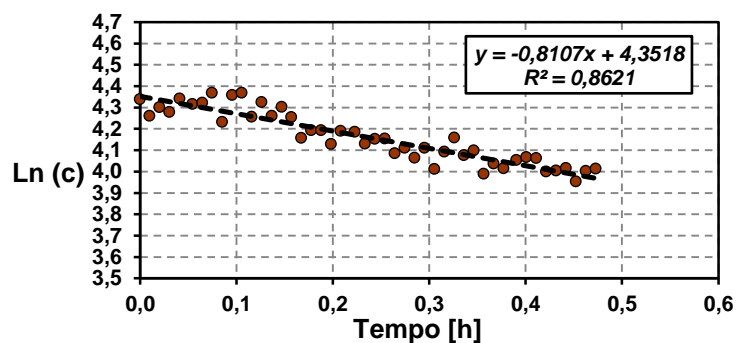
Foto



Medições

Fluke 975 AirMeter™ (no exterior)	velocidade do vento [m/s]	início	fim
	perpendicular à fachada		
	paralelo à fachada		
data logger HOBO U12 (no interior de cada compartimento)		média ± desvio padrão	
	temperatura [°C]	$21 \pm 0,08$	
	humidade relativa [%]	$61 \pm 0,11$	
condutas de extração de ar	dimensões da tubagem/grelha [m]	_____	
	velocidade do ar [m/s]	_____	
	caudal [m³/h]	_____	

Resultados



R^2	0,86
RPH [h ⁻¹]	0,81
Q [m³/h]	28,5

Observações:

Foi considerado cozinha + arrumos.

FICHA DE ENSAIO

Determinação dos caudais de ventilação em edifícios de habitação através da técnica dos gases traçadores

código do ensaio: GF4.1.2.

Data: 29.04.2014

Hora de início: 15:37 Hora de fim: 16:18

Condições atmosféricas: bastante nublado, temperatura de 20°C e humidade relativa de 65%

Pé-direito: 2,6m

Área: $11,4 + 2,4 = 13,8\text{m}^2$

Volume: $35,1\text{m}^3$

Área envidraçada: $2,3\text{m}^2$

Área opaca: $5,2\text{m}^2$

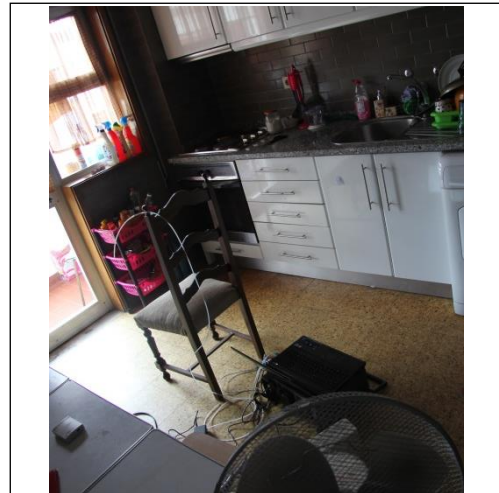
Nº de janelas: 1 + 1 porta Orientação: SE 129°

Extração mecânica: exaustor

Referências normativas:

ISO 12569 (2012) e ASTM E741-00 (2000)

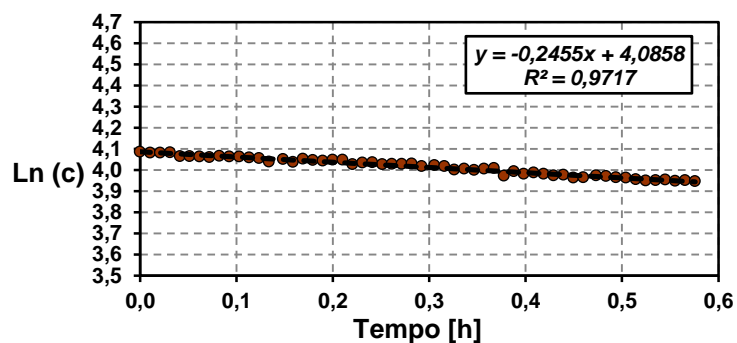
Foto



Medições

Fluke 975 AirMeter™ (no exterior)	velocidade do vento [m/s]	início	fim
	perpendicular à fachada		
	paralelo à fachada		
data logger HOBO U12 (no interior de cada compartimento)		média ± desvio padrão	
	temperatura [°C]	$21 \pm 0,06$	
	humidade relativa [%]	$62 \pm 0,18$	
condutas de extração de ar	dimensões da tubagem/grelha [m]	_____	
	velocidade do ar [m/s]	_____	
	caudal [m³/h]	_____	

Resultados



R^2	0,97
RPH [h ⁻¹]	0,25
Q [m³/h]	8,6

Observações:

Foi considerado cozinha + arrumos.

FICHA DE ENSAIO

Determinação dos caudais de ventilação em edifícios de habitação através da técnica dos gases traçadores

código do ensaio: GF4.2.1.

Data: 29.04.2014

Hora de início: 17:07 Hora de fim: 17:42

Condições atmosféricas: bastante nublado, temperatura de 20°C e humidade relativa de 67%

Pé-direito: 2,6m

Área: $11,4 + 2,4 = 13,8\text{m}^2$

Volume: $35,1\text{m}^3$

Área envidraçada: $2,3\text{m}^2$

Área opaca: $5,2\text{m}^2$

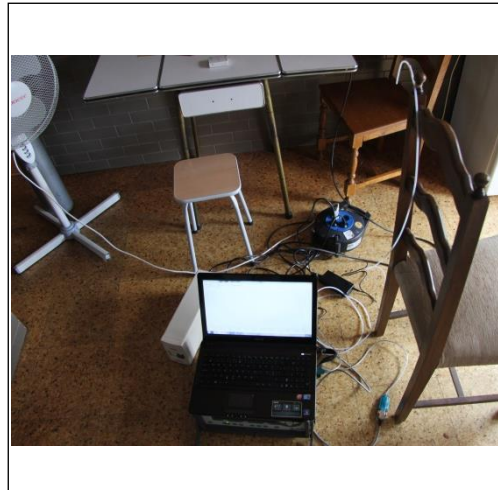
Nº de janelas: 1 + 1 porta Orientação: SE 129°

Extração mecânica: exaustor

Referências normativas:

ISO 12569 (2012) e ASTM E741-00 (2000)

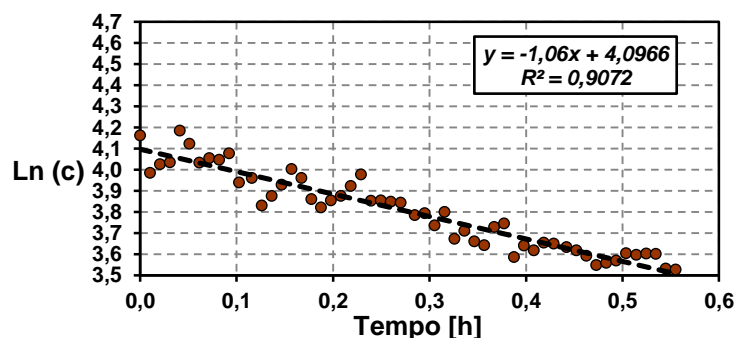
Foto



Medições

Fluke 975 AirMeter™ (no exterior)	velocidade do vento [m/s]	início	fim
	perpendicular à fachada		0,2
	paralelo à fachada		0,6
data logger HOBO U12 (no interior de cada compartimento)		média ± desvio padrão	
	temperatura [°C]	$21 \pm 0,05$	
	humidade relativa [%]	$63 \pm 0,11$	
condutas de extração de ar	dimensões da tubagem/grelha [m]	$A_{\text{exaustor}} = 0,14 \times 0,50$	
	velocidade do ar [m/s]	0,4	
	caudal [m³/h]	100,8	

Resultados



R^2	0,91
RPH [h ⁻¹]	1,06
Q [m³/h]	37,2

Observações:

Houve necessidade de se injetar novamente gás, neste compartimento, antes de se realizar o ensaio com as portas abertas, uma vez que a extração é elevada e não existia gás suficiente para se inicializar mais um ensaio.

FICHA DE ENSAIO

Determinação dos caudais de ventilação em edifícios de habitação através da técnica dos gases traçadores

código do ensaio: GF4.2.2.

Data: 29.04.2014

Hora de início: 16:21 Hora de fim: 16:58

Condições atmosféricas: bastante nublado, temperatura de 20°C e humidade relativa de 67%

Pé-direito: 2,6m

Área: $11,4 + 2,4 = 13,8\text{m}^2$

Volume: $35,1\text{m}^3$

Área envidraçada: $2,3\text{m}^2$

Área opaca: $5,2\text{m}^2$

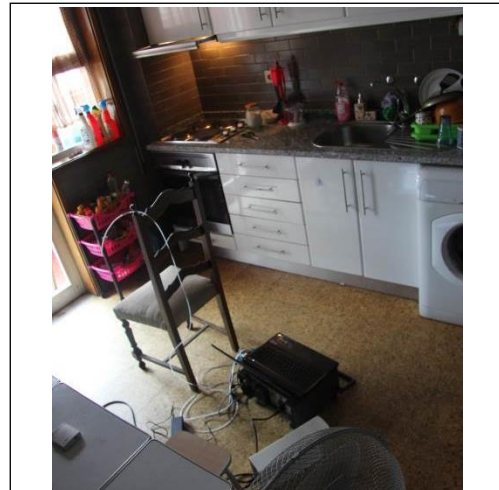
Nº de janelas: 1 + 1 porta Orientação: SE 129°

Extração mecânica: exaustor

Referências normativas:

ISO 12569 (2012) e ASTM E741-00 (2000)

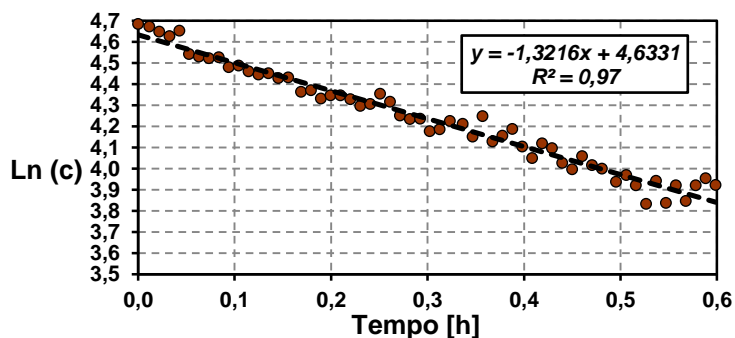
Foto



Medições

Fluke 975 AirMeter™ (no exterior)	velocidade do vento [m/s]	início	fim
	perpendicular à fachada		
	paralelo à fachada		
data logger HOBO U12 (no interior de cada compartimento)		média ± desvio padrão	
	temperatura [°C]	$21 \pm 0,06$	
	humidade relativa [%]	$63 \pm 0,13$	
condutas de extração de ar	dimensões da tubagem/grelha [m]	$A_{\text{exaustor}} = 0,14 \times 0,50$	
	velocidade do ar [m/s]	0,4	
	caudal [m³/h]	100,8	

Resultados

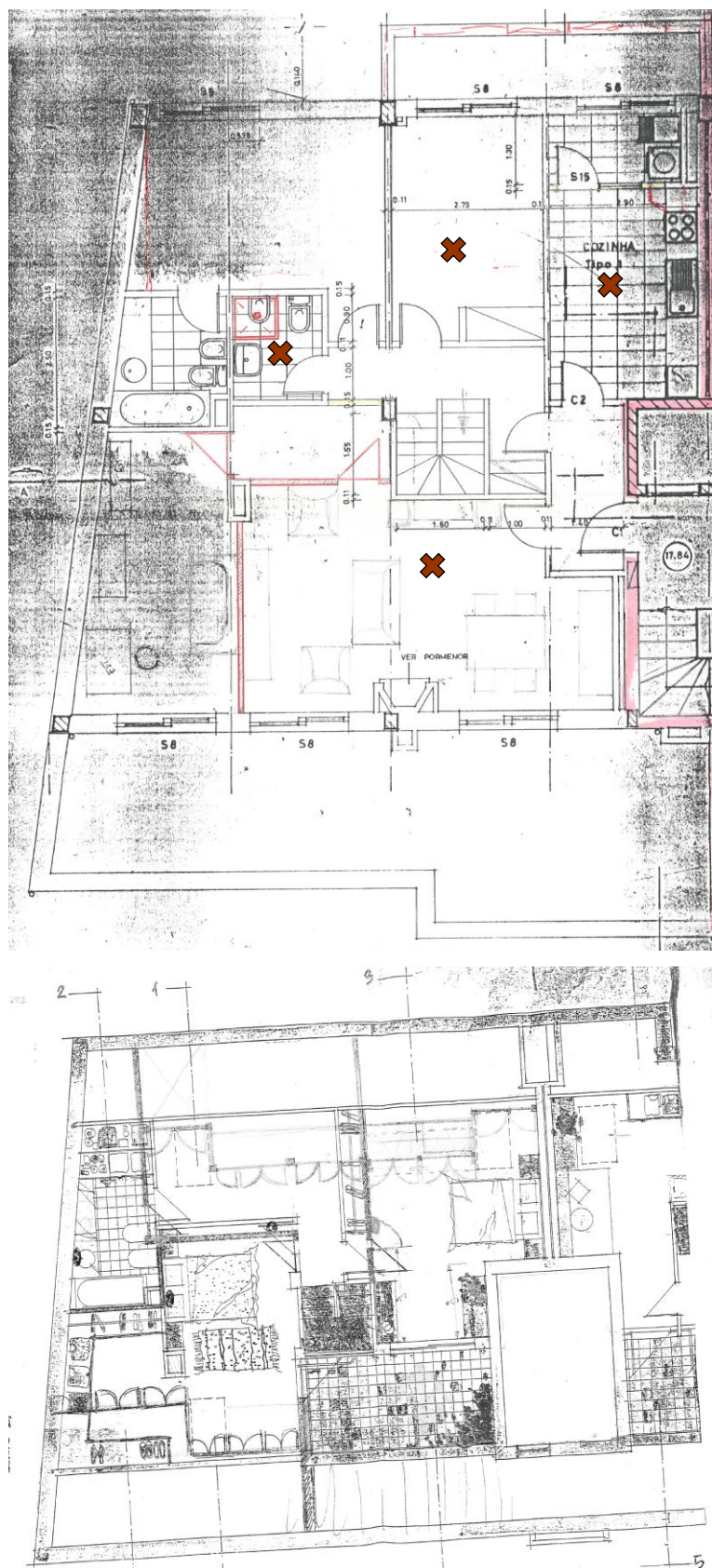


R^2	0,97
RPH [h ⁻¹]	1,32
Q [m³/h]	46,4

Observações:

Houve necessidade de se injetar novamente gás, neste compartimento, antes de se realizar o ensaio com as portas fechadas, uma vez que se iria ligar a extração e não existia gás suficiente para se inicializar mais um ensaio.

ANEXO II ENSAIO AC



PLANO DE ENSAIO – AC

1. Quarto

1.1. porta aberta

1.2. porta fechada

Nota: medir a velocidade do vento perpendicular e paralelo à fachada

Área: 10,9m² Área envidraçada: 3,6m² Área opaca: 2,0m²

Pé-direito: 2,4m Volume: 26,2m³

Nº de janelas: 1 janela/porta de acesso à varanda fechada/marquise

Orientação: NE 40° Tipo de sistema de oclusão: estores exteriores

2. Instalação sanitária

2.1. extração ligada

2.1.1. porta aberta

2.1.2. porta fechada

2.2. extração desligada

2.2.1. porta aberta

2.2.2. porta fechada

Nota: medir a velocidade do ar na conduta e o diâmetro da tubagem

Área: 3,1m² Área envidraçada: 0m² Área opaca: 0m²

Pé-direito: 2,4m Volume: 7,5m³ Nº de janelas: 0

3. Sala

3.1. porta aberta

3.2. porta fechada

Nota: medir a velocidade do vento perpendicular e paralelo à fachada

Área: 26,5m² Área envidraçada: 7,0m² Área opaca: 7,4m²

Pé-direito: 2,4m Volume: 63,6m³

Nº de janelas: 2 janelas/portas de acesso ao terraço Orientação: S 159°

Tipo de sistema de oclusão: estores exteriores

4. Cozinha

4.1. extração desligada

4.1.1. porta aberta

4.1.2. porta fechada

4.2. extração ligada

4.2.1. porta aberta

4.2.2. porta fechada

Nota: medir a velocidade do ar na conduta, a dimensão da grelha do exaustor e a velocidade do vento perpendicular e paralelo à fachada

Área: $15,6\text{m}^2$ Área envidraçada: $3,6\text{m}^2$ Área opaca: $3,2\text{m}^2$

Pé-direito: 2,4m Volume: $37,0\text{m}^3$

Nº de janelas: 1 janela/porta de acesso à varanda fechada/marquise

Orientação: NE 45º Tipo de sistema de oclusão: estores exteriores

Atenção: fora do compartimento onde se estão a realizar as medições é conveniente que as condições sejam sempre as mesmas: janelas fechadas, estores exteriores totalmente abertos, portas todas fechadas ou todas abertas dependendo da situação do ensaio, exceto na *suite* em que a porta de acesso à instalação sanitária existente dentro do quarto se mantém sempre aberta, assim como também uma das duas portas de comunicação à zona dos quartos no corredor e no quarto e na cozinha em que permanecem fechadas as portas/janelas de acesso à varanda fechada/marquise, no caso do sistema de ventilação mecânico na cozinha e nas instalações sanitárias permanecerá desligado quando não o acionarmos.

Em todos os compartimentos, durante os ensaios, com o *data logger* HOBO U12 medir a temperatura e humidade relativa, posteriormente registar a média e o desvio padrão destes dois parâmetros em cada compartimento.

FICHA DE ENSAIO

Determinação dos caudais de ventilação em edifícios de habitação através da técnica dos gases traçadores

código do ensaio: AC1.1.

Data: 30.04.2014

Hora de início: 09:22 Hora de fim: 09:56

Condições atmosféricas: bastante nublado, temperatura de 17°C e humidade relativa de 81%

Pé-direito: 2,4m

Área: 10,9m²

Volume: 26,2m³

Área envidraçada: 3,6m²

Área opaca: 2,0m²

Nº de janelas: 1 Orientação: NE 40°

Extração mecânica: não tem

Referências normativas:

ISO 12569 (2012) e ASTM E741-00 (2000)

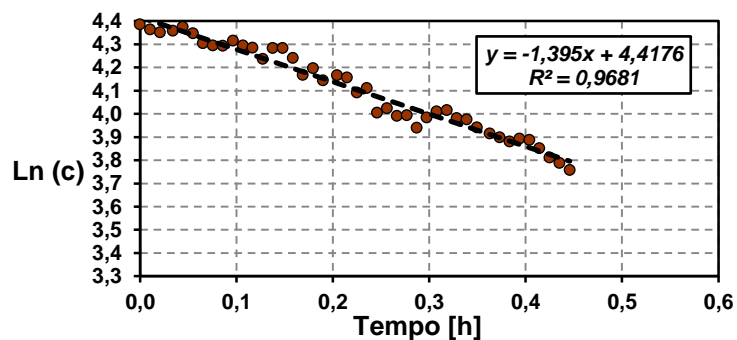
Foto



Medições

Fluke 975 AirMeter™ (no exterior)	velocidade do vento [m/s]	início	fim
	perpendicular à fachada	0,4	
	paralelo à fachada	0,8	
data logger HOBO U12 (no interior de cada compartimento)		média ± desvio padrão	
	temperatura [°C]	20 ± 0,13	
	humidade relativa [%]	70 ± 0,78	
condutas de extração de ar	dimensões da tubagem/grelha [m]	_____	
	velocidade do ar [m/s]	_____	
	caudal [m ³ /h]	_____	

Resultados



R ²	0,97
RPH [h ⁻¹]	1,40
Q [m ³ /h]	36,6

Observações:

FICHA DE ENSAIO

Determinação dos caudais de ventilação em edifícios de habitação através da técnica dos gases traçadores

código do ensaio: AC1.2.

Data: 30.04.2014

Hora de início: 09:57 Hora de fim: 10:33

Condições atmosféricas: bastante nublado, temperatura de 17°C e humidade relativa de 83%

Pé-direito: 2,4m

Área: 10,9m²

Volume: 26,2m³

Área envidraçada: 3,6m²

Área opaca: 2,0m²

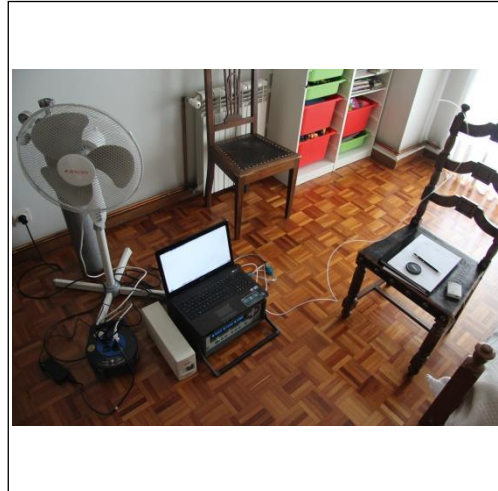
Nº de janelas: 1 Orientação: NE 40°

Extração mecânica: não tem

Referências normativas:

ISO 12569 (2012) e ASTM E741-00 (2000)

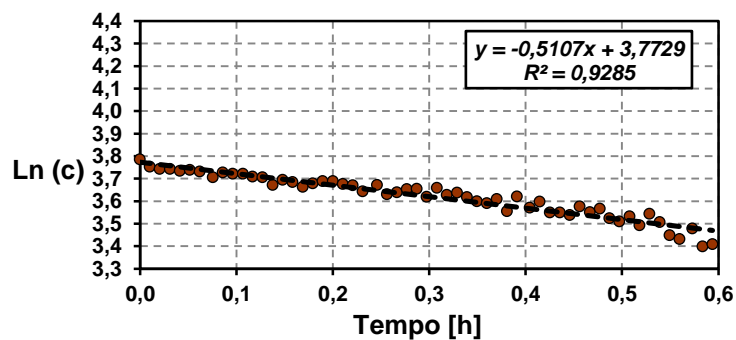
Foto



Medições

Fluke 975 AirMeter™ (no exterior)	velocidade do vento [m/s]	início	fim
	perpendicular à fachada		0,4
	paralelo à fachada		1,0
data logger HOBO U12 (no interior de cada compartimento)		média ± desvio padrão	
	temperatura [°C]	20 ± 0,07	
	humidade relativa [%]	70 ± 0,15	
condutas de extração de ar	dimensões da tubagem/grelha [m]	_____	
	velocidade do ar [m/s]	_____	
	caudal [m ³ /h]	_____	

Resultados



R ²	0,93
RPH [h ⁻¹]	0,51
Q [m ³ /h]	13,4

Observações:

FICHA DE ENSAIO

Determinação dos caudais de ventilação em edifícios de habitação através da técnica dos gases traçadores

código do ensaio: AC2.1.1.

Data: 30.04.2014

Hora de início: 11:10 Hora de fim: 11:31

Condições atmosféricas: chuviscos, temperatura de 17°C e humidade relativa de 86%

Pé-direito: 2,4m

Área: 3,1m²

Volume: 7,5m³

Área envidraçada: 0m²

Área opaca: 0m²

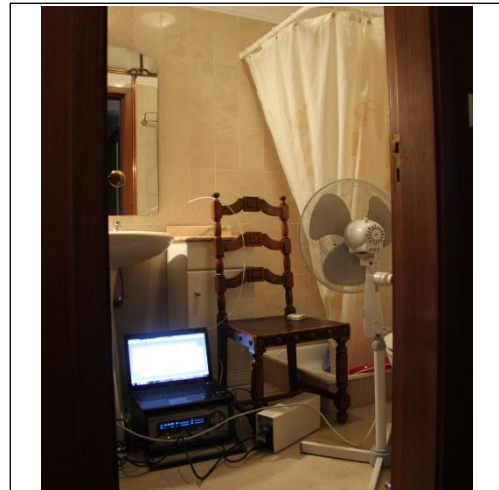
Nº de janelas: 0

Extração mecânica: sim e é acionável


Referências normativas:

ISO 12569 (2012) e ASTM E741-00 (2000)

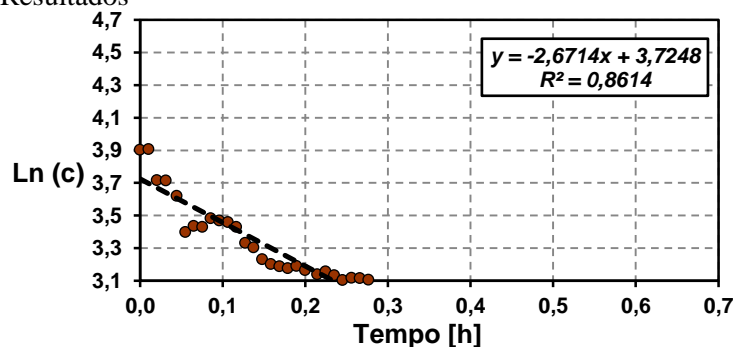
Foto



Medições

Fluke 975 AirMeter™ (no exterior)	velocidade do vento [m/s]	início	fim
	perpendicular à fachada	_____	_____
	paralelo à fachada	_____	_____
data logger HOBO U12 (no interior de cada compartimento)		média ± desvio padrão	
	temperatura [°C]	20 ± 0,07	
	humidade relativa [%]	69 ± 0,13	
condutas de extração de ar	dimensões da tubagem/grelha [m]	D _{superior} = 0,095 D _{inferior} = 0,06 	
	velocidade do ar [m/s]	3,2	
	caudal [m³/h]	49,1	

Resultados



R ²	0,86
RPH [h ⁻¹]	2,67
Q [m³/h]	20,0

Observações:

Houve necessidade de se injetar novamente gás, neste compartimento, antes de se realizar o ensaio com as portas abertas, uma vez que a extração é elevada e não existia gás suficiente para se inicializar mais um ensaio.

FICHA DE ENSAIO

Determinação dos caudais de ventilação em edifícios de habitação através da técnica dos gases traçadores

código do ensaio: AC2.1.2.

Data: 30.04.2014

Hora de início: 10:41 Hora de fim: 11:09

Condições atmosféricas: chuviscos, temperatura de 17°C e humidade relativa de 86%

Pé-direito: 2,4m

Área: 3,1m²

Volume: 7,5m³

Área envidraçada: 0m²

Área opaca: 0m²

Nº de janelas: 0

Extração mecânica: sim e é acionável


Referências normativas:

ISO 12569 (2012) e ASTM E741-00 (2000)

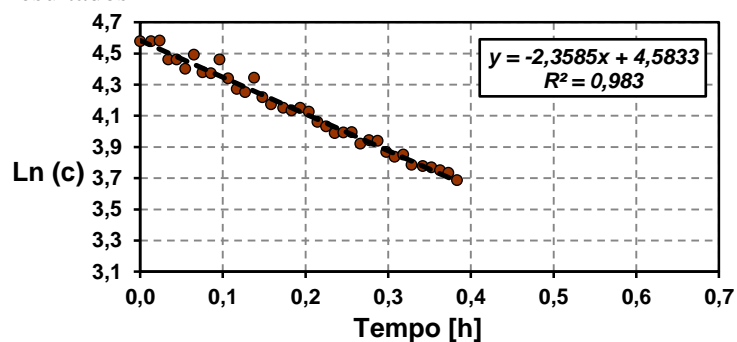
Foto



Medições

Fluke 975 AirMeter™ (no exterior)	velocidade do vento [m/s]	início	fim
	perpendicular à fachada	_____	_____
	paralelo à fachada	_____	_____
data logger HOBO U12 (no interior de cada compartimento)		média ± desvio padrão	
	temperatura [°C]	20 ± 0,13	
	humidade relativa [%]	70 ± 0,54	
condutas de extração de ar	dimensões da tubagem/grelha [m]	D _{superior} = 0,095 D _{inferior} = 0,06 	
	velocidade do ar [m/s]	3,2	
	caudal [m ³ /h]	49,1	

Resultados



R ²	0,98
RPH [h ⁻¹]	2,36
Q [m ³ /h]	17,7

Observações:

FICHA DE ENSAIO

Determinação dos caudais de ventilação em edifícios de habitação através da técnica dos gases traçadores

código do ensaio: AC2.2.1.

Data: 30.04.2014

Hora de início: 11:33 Hora de fim: 11:59

Condições atmosféricas: chuviscos, temperatura de 18°C e humidade relativa de 84%

Pé-direito: 2,4m

Área: 3,1m²

Volume: 7,5m³

Área envidraçada: 0m²

Área opaca: 0m²

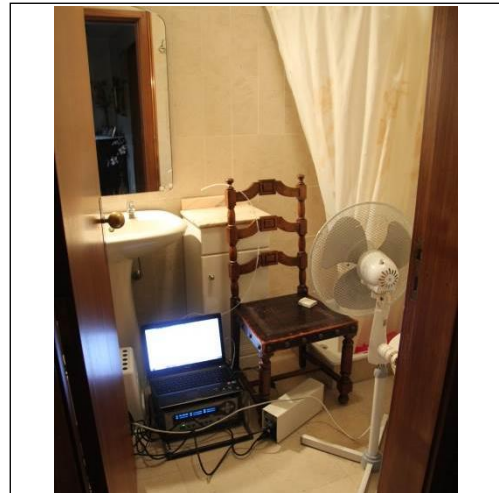
Nº de janelas: 0

Extração mecânica: sim e é acionável

Referências normativas:

ISO 12569 (2012) e ASTM E741-00 (2000)

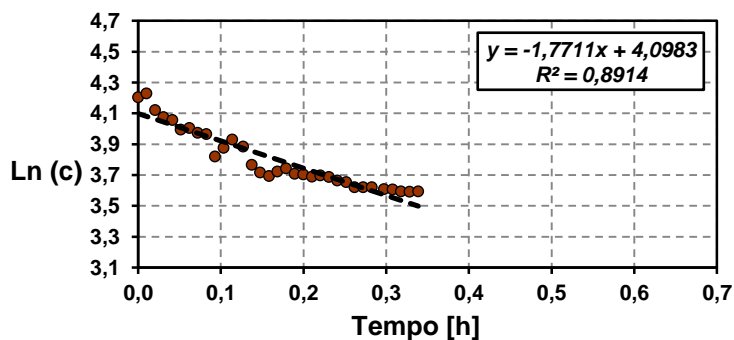
Foto



Medições

Fluke 975 AirMeter™ (no exterior)	velocidade do vento [m/s]	início	fim
	perpendicular à fachada	_____	_____
	paralelo à fachada	_____	_____
data logger HOBO U12 (no interior de cada compartimento)		média ± desvio padrão	
	temperatura [°C]	21 ± 0,06	
	humidade relativa [%]	69 ± 0,10	
condutas de extração de ar	dimensões da tubagem/grelha [m]	_____	
	velocidade do ar [m/s]	_____	
	caudal [m ³ /h]	_____	

Resultados



R ²	0,89
RPH [h ⁻¹]	1,77
Q [m ³ /h]	13,3

Observações:

Houve necessidade de se injetar novamente gás, neste compartimento, antes de se realizar o ensaio mais uma vez com as portas abertas, mas agora sem acionar a extração, pois não existia gás suficiente para se inicializar mais um ensaio.

FICHA DE ENSAIO

Determinação dos caudais de ventilação em edifícios de habitação através da técnica dos gases traçadores

código do ensaio: AC2.2.2.

Data: 30.04.2014

Hora de início: 12:08 Hora de fim: 12:48

Condições atmosféricas: chuviscos, temperatura de 19°C e humidade relativa de 79%

Pé-direito: 2,4m

Área: 3,1m²

Volume: 7,5m³

Área envidraçada: 0m²

Área opaca: 0m²

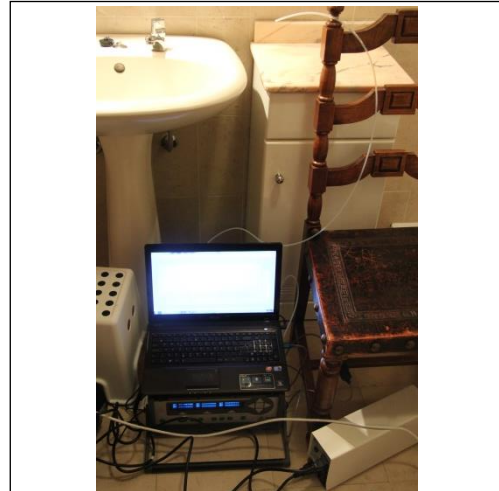
Nº de janelas: 0

Extração mecânica: sim e é acionável

Referências normativas:

ISO 12569 (2012) e ASTM E741-00 (2000)

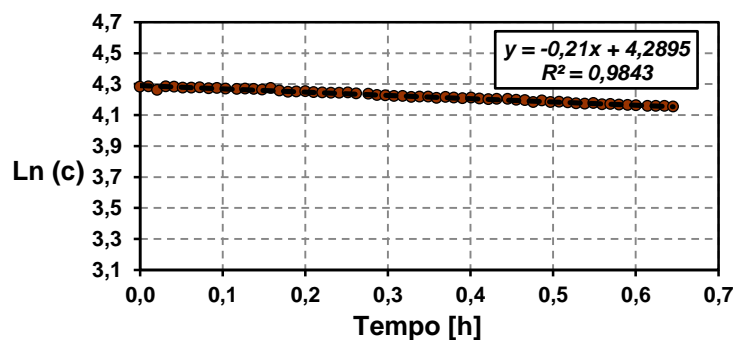
Foto



Medições

Fluke 975 AirMeter (no exterior)	velocidade do vento [m/s]	início	fim
	perpendicular à fachada	_____	_____
	paralelo à fachada	_____	_____
Data-Logger HOBO U12 (no interior de cada compartimento)		média ± desvio padrão	
	temperatura [°C]	21 ± 0,01	
	humidade relativa [%]	69 ± 0,04	
condutas de extração de ar	dimensões da tubagem/grelha [m]	_____	
	velocidade do ar [m/s]	_____	
	caudal [m ³ /h]	_____	

Resultados



R ²	0,98
RPH [h ⁻¹]	0,21
Q [m ³ /h]	1,6

Observações:

Houve necessidade de se injetar novamente gás, neste compartimento, antes de se realizar o ensaio com as portas fechadas, uma vez que a extração é elevada e não existia gás suficiente para se inicializar mais um ensaio.

FICHA DE ENSAIO

Determinação dos caudais de ventilação em edifícios de habitação através da técnica dos gases traçadores

código do ensaio: AC3.1.

Data: 30.04.2014

Hora de início: 12:56 Hora de fim: 13:30

Condições atmosféricas: bastante nublado, temperatura de 19°C e humidade relativa de 77%

Pé-direito: 2,4m

Área: 26,5m²

Volume: 63,6m³

Área envidraçada: 7,0m²

Área opaca: 7,4m²

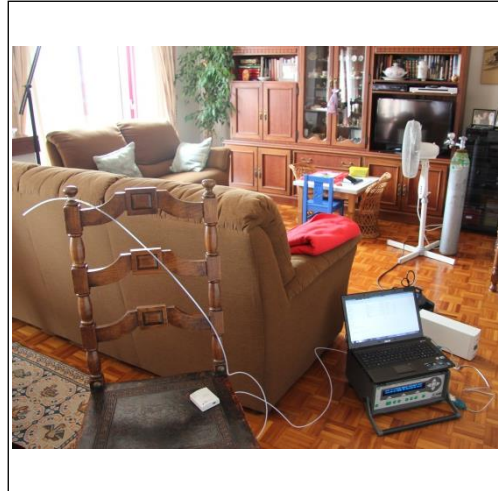
Nº de janelas: 1 Orientação: S 159°

Extração mecânica: não tem, tem um fogão de sala

Referências normativas:

ISO 12569 (2012) e ASTM E741-00 (2000)

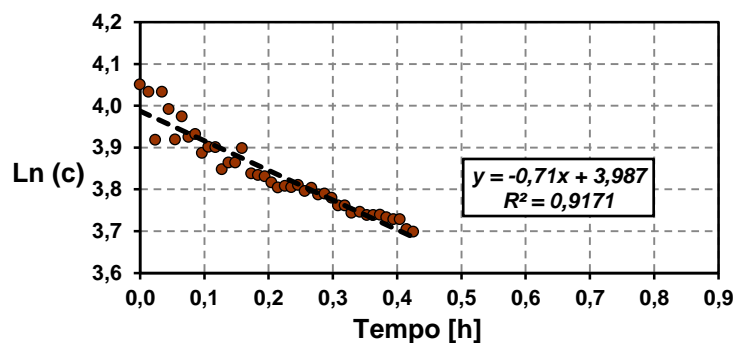
Foto



Medições

Fluke 975 AirMeter™ (no exterior)	velocidade do vento [m/s]	início	Fim
	perpendicular à fachada	0,4	
	paralelo à fachada	1,4	
data logger HOBO U12 (no interior de cada compartimento)		média ± desvio padrão	
	temperatura [°C]	21 ± 0,02	
	humidade relativa [%]	68 ± 0,10	
condutas de extração de ar	dimensões da tubagem/grelha [m]	_____	
	velocidade do ar [m/s]	_____	
	caudal [m ³ /h]	_____	

Resultados



R ²	0,92
RPH [h ⁻¹]	0,71
Q [m ³ /h]	45,1

Observações:

FICHA DE ENSAIO

Determinação dos caudais de ventilação em edifícios de habitação através da técnica dos gases traçadores

código do ensaio: AC3.2.

Data: 30.04.2014

Hora de início: 13:30 Hora de fim: 14:26

Condições atmosféricas: bastante nublado, temperatura de 20°C e humidade relativa de 73%

Pé-direito: 2,4m

Área: 26,5m²

Volume: 63,6m³

Área envidraçada: 7,0m²

Área opaca: 7,4m²

Nº de janelas: 1 Orientação: S 159°

Extração mecânica: não tem, tem um fogão de sala

Referências normativas:

ISO 12569 (2012) e ASTM E741-00 (2000)

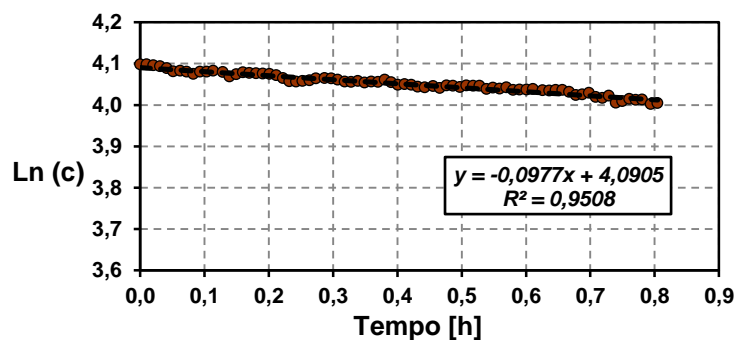
Foto



Medições

Fluke 975 AirMeter™ (no exterior)	velocidade do vento [m/s]	início	Fim
	perpendicular à fachada		0,4
	paralelo à fachada		1,6
data logger HOBO U12 (no interior de cada com- partimento)		média ± desvio padrão	
	temperatura [°C]	21 ± 0,22	
	humidade relativa [%]	67 ± 0,30	
condutas de extração de ar	dimensões da tubagem/grelha [m]	_____	
	velocidade do ar [m/s]	_____	
	caudal [m ³ /h]	_____	

Resultados



R ²	0,95
RPH [h ⁻¹]	0,10
Q [m ³ /h]	6,2

Observações:

Houve necessidade de se injetar novamente gás, neste compartimento, antes de se realizar o ensaio com as portas fechadas, uma vez que não existia gás suficiente para se inicializar mais um ensaio.

FICHA DE ENSAIO

Determinação dos caudais de ventilação em edifícios de habitação através da técnica dos gases traçadores

código do ensaio: AC4.1.1.

Data: 30.04.2014

Hora de início: 14:38 Hora de fim: 15:10

Condições atmosféricas: bastante nublado, temperatura de 21°C e humidade relativa de 70%

Pé-direito: 2,4m

Área: 15,6m²

Volume: 37,0m³

Área envidraçada: 3,6m²

Área opaca: 3,2m²

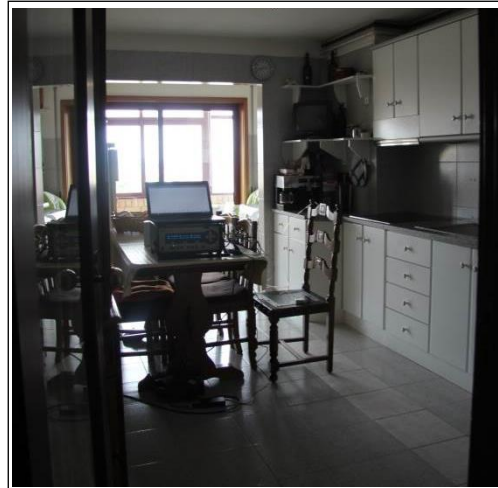
Nº de janelas: 1 Orientação: NE 45°

Extração mecânica: exaustor

Referências normativas:

ISO 12569 (2012) e ASTM E741-00 (2000)

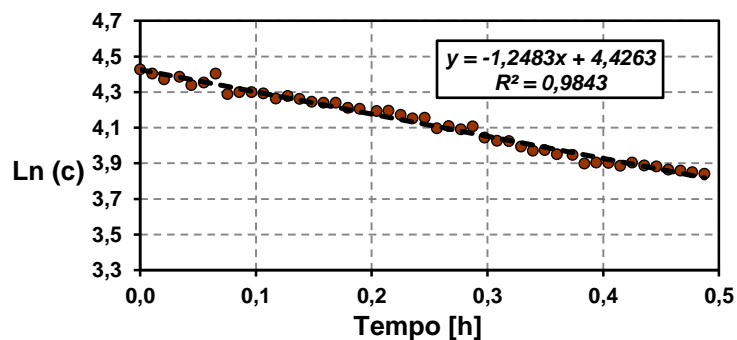
Foto



Medições

Fluke 975 AirMeter™ (no exterior)	velocidade do vento [m/s]	início	fim
	perpendicular à fachada	0,4	
	paralelo à fachada	1,3	
data logger HOBO U12 (no interior de cada compartimento)		média ± desvio padrão	
	temperatura [°C]	21 ± 0,17	
	humidade relativa [%]	68 ± 0,39	
condutas de extração de ar	dimensões da tubagem/grelha [m]	_____	
	velocidade do ar [m/s]	_____	
	caudal [m³/h]	_____	

Resultados



R ²	0,98
RPH [h ⁻¹]	1,25
Q [m³/h]	46,2

Observações:

FICHA DE ENSAIO

Determinação dos caudais de ventilação em edifícios de habitação através da técnica dos gases traçadores

código do ensaio: AC4.1.2.

Data: 30.04.2014

Hora de início: 15:12 Hora de fim: 15:38

Condições atmosféricas: bastante nublado, temperatura de 21°C e humidade relativa de 68%

Pé-direito: 2,4m

Área: 15,6m²

Volume: 37,0m³

Área envidraçada: 3,6m²

Área opaca: 3,2m²

Nº de janelas: 1 Orientação: NE 45°

Extração mecânica: exaustor

Referências normativas:

ISO 12569 (2012) e ASTM E741-00 (2000)

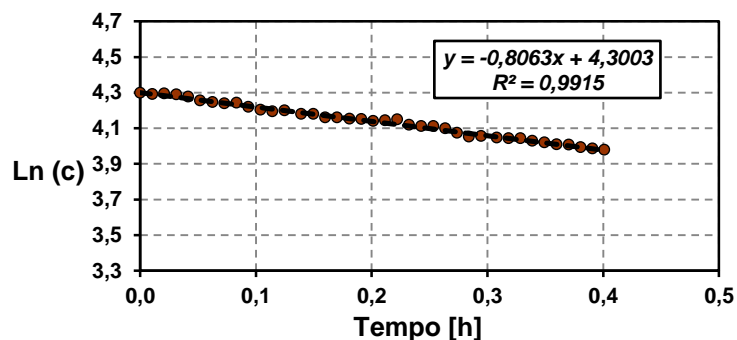
Foto



Medições

Fluke 975 AirMeter™ (no exterior)	velocidade do vento [m/s]	início	fim
	perpendicular à fachada		
	paralelo à fachada		
data logger HOBO U12 (no interior de cada compartimento)		média ± desvio padrão	
	temperatura [°C]	20 ± 0,04	
	humidade relativa [%]	69 ± 0,07	
condutas de extração de ar	dimensões da tubagem/grelha [m]	_____	
	velocidade do ar [m/s]	_____	
	caudal [m ³ /h]	_____	

Resultados



R^2	0,99
RPH [h ⁻¹]	0,81
Q [m ³ /h]	29,8

Observações:

Houve necessidade de se injetar novamente gás, neste compartimento, antes de se realizar o ensaio com as portas fechadas, uma vez que não existia gás suficiente para se inicializar mais um ensaio.

FICHA DE ENSAIO

Determinação dos caudais de ventilação em edifícios de habitação através da técnica dos gases traçadores

código do ensaio: AC4.2.1.

Data: 30.04.2014

Hora de início: 16:23 Hora de fim: 16:56

Condições atmosféricas: bastante nublado, temperatura de 20°C e humidade relativa de 73%

Pé-direito: 2,4m

Área: 15,6m²

Volume: 37,0m³

Área envidraçada: 3,6m²

Área opaca: 3,2m²

Nº de janelas: 1 Orientação: NE 45°

Extração mecânica: exaustor

Referências normativas:

ISO 12569 (2012) e ASTM E741-00 (2000)

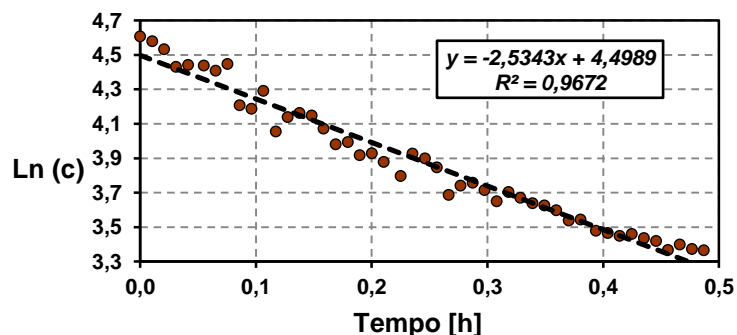
Foto



Medições

Fluke 975 AirMeter™ (no exterior)	velocidade do vento [m/s]	início	fim
	perpendicular à fachada		0,8
	paralelo à fachada		2,3
data logger HOBO U12 (no interior de cada compartimento)		média ± desvio padrão	
	temperatura [°C]	20 ± 0,03	
	humidade relativa [%]	69 ± 0,12	
condutas de extração de ar	dimensões da tubagem/grelha [m]	A _{exaustor} = 0,14 x 0,50	
	velocidade do ar [m/s]	0,4	
	caudal [m ³ /h]	100,8	

Resultados



R ²	0,97
RPH [h ⁻¹]	2,53
Q [m ³ /h]	93,8

Observações:

Houve necessidade de se injetar novamente gás, neste compartimento, antes de se realizar o ensaio com as portas abertas, uma vez que não existia gás suficiente para se inicializar mais um ensaio.

FICHA DE ENSAIO

Determinação dos caudais de ventilação em edifícios de habitação através da técnica dos gases traçadores

código do ensaio: AC4.2.2.

Data: 30.04.2014

Hora de início: 15:52 Hora de fim: 16:22

Condições atmosféricas: bastante nublado, temperatura de 20°C e humidade relativa de 69%

Pé-direito: 2,4m

Área: 15,6m²

Volume: 37,0m³

Área envidraçada: 3,6m²

Área opaca: 3,2m²

Nº de janelas: 1 Orientação: NE 45°

Extração mecânica: exaustor

Referências normativas:

ISO 12569 (2012) e ASTM E741-00 (2000)

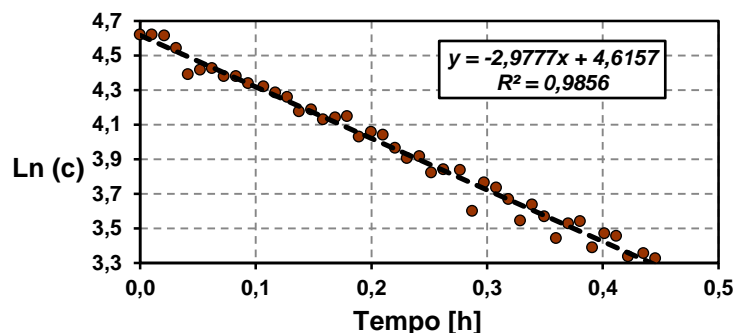
Foto



Medições

Fluke 975 AirMeter™ (no exterior)	velocidade do vento [m/s]	início	fim
	perpendicular à fachada		
	paralelo à fachada		
data logger HOBO U12 (no interior de cada compartimento)		média ± desvio padrão	
	temperatura [°C]	20 ± 0,05	
	humidade relativa [%]	69 ± 0,19	
condutas de extração de ar	dimensões da tubagem/grelha [m]	A _{exaustor} = 0,14 x 0,50	
	velocidade do ar [m/s]	0,4	
	caudal [m ³ /h]	100,8	

Resultados

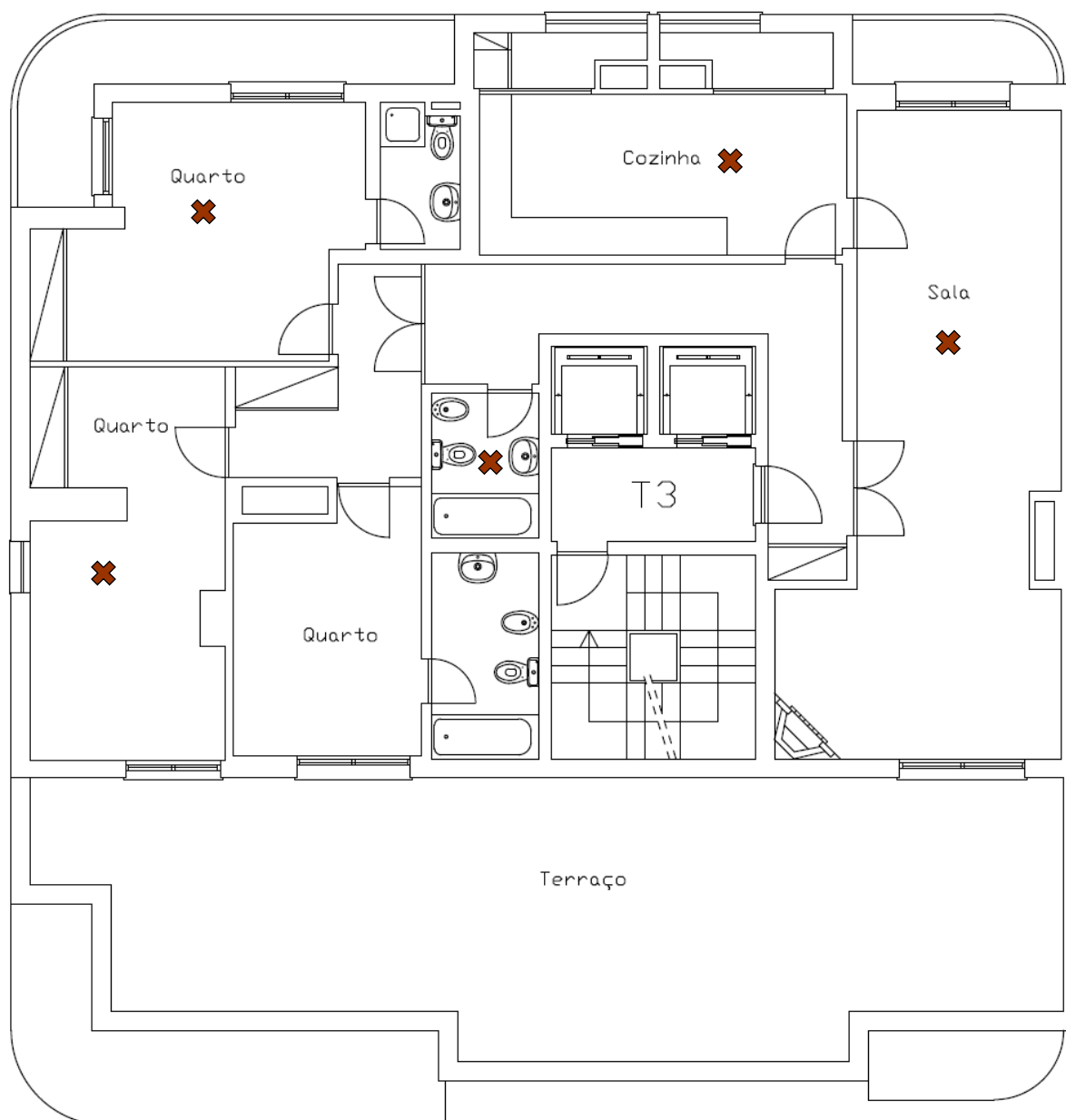


R ²	0,99
RPH [h ⁻¹]	2,98
Q [m ³ /h]	110,2

Observações:

Houve necessidade de se injetar novamente gás, neste compartimento, antes de se realizar o ensaio com a extração ligada, uma vez que não existia gás suficiente para se inicializar mais um ensaio.

ANEXO III ENSAIO DGS



PLANO DE ENSAIO – DGS

1. Quarto

1.1. porta aberta

1.2. porta fechada

Nota: medir a velocidade do vento perpendicular e paralelo à fachada

Área: 17,0m²

Áreas envidraçadas: 3,3m²

Áreas opacas: 19,6m²

Pé-direito: 2,6m

Volume: 44,2m³

Nº de janelas: 1+ 1 janela/porta de acesso ao terraço

Orientação: NE 54° e NO 302°

Tipo de sistema de oclusão: estores exteriores elétricos

2. Instalação sanitária

2.1. porta aberta

2.2. porta fechada

Nota: medir a velocidade do ar na conduta e o diâmetro da tubagem

Área: 3,9m²

Áreas envidraçadas: 0m²

Áreas opacas: 0m²

Pé-direito: 2,6m

Volume: 10,1m³

Nº de janelas: 0

3. Sala com dois vãos envidraçados e duas orientações

3.1. porta aberta

3.2. porta fechada

Nota: medir a velocidade do vento perpendicular e paralelo à fachada, averiguar como fazer tendo o compartimento duas orientações

Área: 35,9m²

Áreas envidraçadas: 7,1m²

Áreas opacas: 13,1m²

Pé-direito: 2,6m

Volume: 93,4m³

Nº de janelas: 1 janela/porta de acesso ao terraço e 1 janela/porta de acesso à varanda

Orientação: NO 318° e SE 132°

Tipo de sistema de oclusão: estores exteriores elétricos

4. Cozinha

4.1. extração ligada, caudal mínimo

4.1.1. porta aberta

4.1.2. porta fechada

4.2. extração ligada, caudal máximo

4.2.1. porta aberta

4.2.2. porta fechada

Nota: medir a velocidade do ar na conduta, a dimensão da grelha do exaustor e a velocidade do vento perpendicular e paralelo à fachada

Área: 14,8m² Áreas envidraçadas: 9,2m² Áreas opacas: 6,0m²
 Pé-direito: 2,6m Volume: 38,5m³
 Nº de janelas: 2 janelas/portas de acesso à lavandaria/arrumos
 Orientação: SE 135° Tipo de sistema de oclusão: nenhum

5. Quarto/*Suite*

5.1. porta aberta

5.2. porta fechada

Nota: medir a velocidade do vento perpendicular e paralelo à fachada

Área: 16,9m² Áreas envidraçadas: 4,8m² Áreas opacas: 15,4m²
 Pé-direito: 2,6m Volume: 43,9m³
 Nº de janelas: 1+ 1 janela/porta de acesso à varanda Orientação: NE 66° e SE 154°
 Tipo de sistema de oclusão: estores exteriores elétricos

Atenção: fora do compartimento onde se estão a realizar as medições é conveniente que as condições sejam sempre as mesmas: janelas fechadas, estores exteriores totalmente abertos, portas todas fechadas ou todas abertas dependendo da situação do ensaio, exceto nas *suites* em que as portas de acesso às instalações sanitárias existentes dentro dos quartos se mantêm sempre abertas, assim como também uma das duas portas de comunicação à zona dos quartos no corredor e na cozinha em que permanecem fechadas as portas/janelas de acesso à lavandaria/arrumos, no caso do sistema de ventilação mecânico e centralizado na cozinha e nas instalações sanitárias permanecerá ligado, uma vez que é contínuo.

Em todos os compartimentos, durante os ensaios, com o *data logger* HOBO U12 medir a temperatura e humidade relativa, posteriormente registar a média e o desvio padrão destes dois parâmetros em cada compartimento.

FICHA DE ENSAIO

Determinação dos caudais de ventilação em edifícios de habitação através da técnica dos gases traçadores

código do ensaio: DGS1.1.

Data: 17.04.2014

Hora de início: 09:38 Hora de fim: 10:20

Condições atmosféricas: sol, sem nuvens, temperatura de 15°C e humidade relativa de 81%

Pé-direito: 2,6m

Área: 17,0m²

Volume: 44,2m³

Áreas envidraçadas: 3,3m²

Áreas opacas: 19,6m²

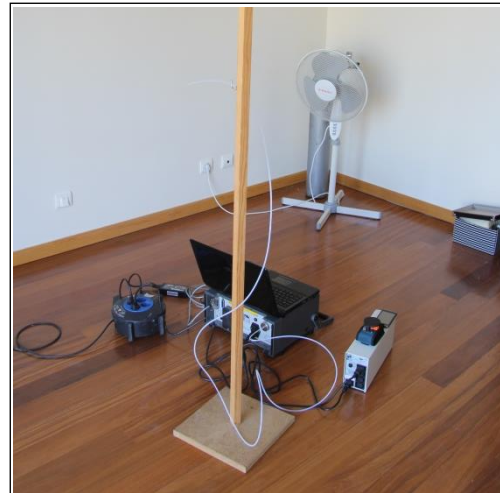
Nº de janelas: 2 Orientação: NO 302° e NE 54°

Extração mecânica: não tem

Referências normativas:

ISO 12569 (2012) e ASTM E741-00 (2000)

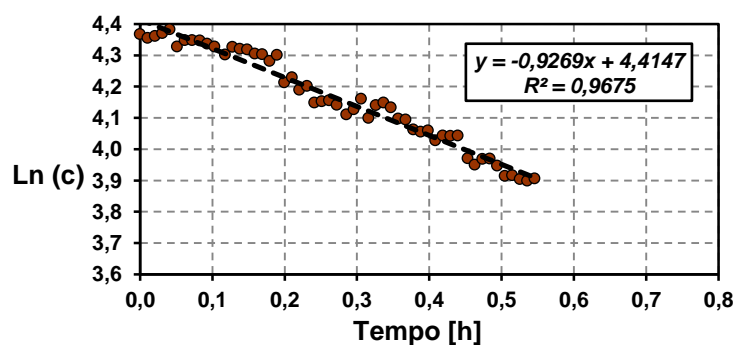
Foto



Medições

Fluke 975 AirMeter™ (no exterior)	velocidade do vento [m/s]	início	fim
	perpendicular à fachada	0,2	
	paralelo à fachada	0,4	
data logger HOBO U12 (no interior de cada com- partimento)		média ± desvio padrão	
	temperatura [°C]	22 ± 0,17	
	humidade relativa [%]	64 ± 0,50	
condutas de extração de ar	dimensões da tubagem/grelha [m]	_____	
	velocidade do ar [m/s]	_____	
	caudal [m³/h]	_____	

Resultados



R ²	0,97
RPH [h ⁻¹]	0,93
Q [m³/h]	41,0

Observações:

FICHA DE ENSAIO

Determinação dos caudais de ventilação em edifícios de habitação através da técnica dos gases traçadores

código do ensaio: DGS1.2.

Data: 17.04.2014

Hora de início: 10:20 Hora de fim: 11:10

Condições atmosféricas: sol, sem nuvens, temperatura de 15°C e humidade relativa de 84%

Pé-direito: 2,6m

Área: 17,0m²

Volume: 44,2m³

Áreas envidraçadas: 3,3m²

Áreas opacas: 19,6m²

Nº de janelas: 2 Orientação: NO 302° e NE 54°

Extração mecânica: não tem

Referências normativas:

ISO 12569 (2012) e ASTM E741-00 (2000)

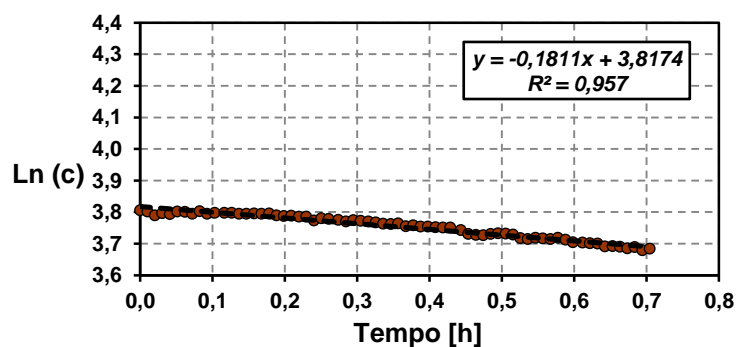
Foto



Medições

Fluke 975 AirMeter™ (no exterior)	velocidade do vento [m/s]	início	fim
	perpendicular à fachada		0,3
	paralelo à fachada		0,3
data logger HOBO U12 (no interior de cada compartimento)		média ± desvio padrão	
	temperatura [°C]	22 ± 0,03	
	humidade relativa [%]	63 ± 0,10	
condutas de extração de ar	dimensões da tubagem/grelha [m]	_____	
	velocidade do ar [m/s]	_____	
	caudal [m ³ /h]	_____	

Resultados



R ²	0,96
RPH [h ⁻¹]	0,18
Q [m ³ /h]	8,0

Observações:

FICHA DE ENSAIO

Determinação dos caudais de ventilação em edifícios de habitação através da técnica dos gases traçadores

código do ensaio: DGS2.1.

Data: 17.04.2014

Hora de início: 11:18 Hora de fim: 11:35

Condições atmosféricas: sol, sem nuvens, temperatura de 17°C e humidade relativa de 83%

Pé-direito: 2,6m

Área: 3,9m²

Volume: 10,1m³

Áreas envidraçadas: 0m²

Áreas opacas: 0m²

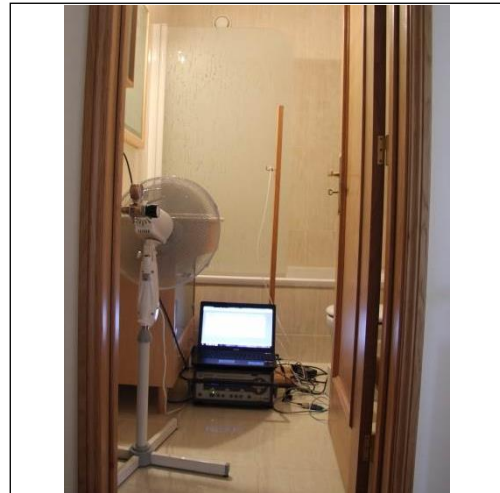
Nº de janelas: 0

Extração mecânica: sim


Referências normativas:

ISO 12569 (2012) e ASTM E741-00 (2000)

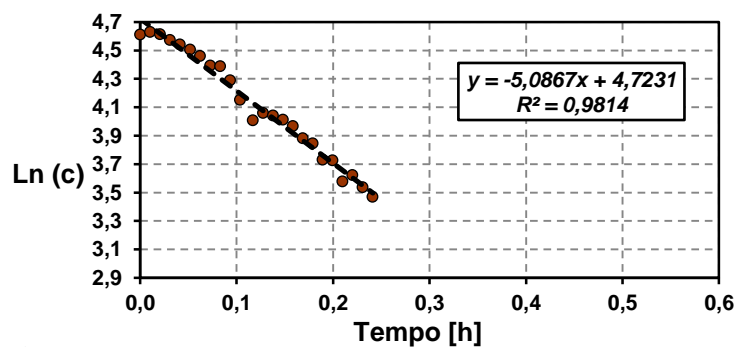
Foto



Medições

Fluke 975 AirMeter™ (no exterior)	velocidade do vento [m/s]	início	fim
	perpendicular à fachada	_____	_____
	paralelo à fachada	_____	_____
data logger HOBO U12 (no interior de cada compartimento)		média ± desvio padrão	
	temperatura [°C]	23 ± 0,01	
	humidade relativa [%]	62 ± 0,08	
condutas de extração de ar	dimensões da tubagem/grelha [m]	D _{superior} = 0,11 D _{inferior} = 0,10 	
	velocidade do ar [m/s]	11,0	
	caudal [m³/h]	65,3	

Resultados



R ²	0,98
RPH [h ⁻¹]	5,09
Q [m³/h]	51,4

Observações:

FICHA DE ENSAIO

Determinação dos caudais de ventilação em edifícios de habitação através da técnica dos gases traçadores

código do ensaio: DGS2.2.

Data: 17.04.2014

Hora de início: 11:50 Hora de fim: 12:23

Condições atmosféricas: sol, sem nuvens, temperatura de 18°C e humidade relativa de 80%

Pé-direito: 2,6m

Área: 3,9m²

Volume: 10,1m³

Áreas envidraçadas: 0m²

Áreas opacas: 0m²

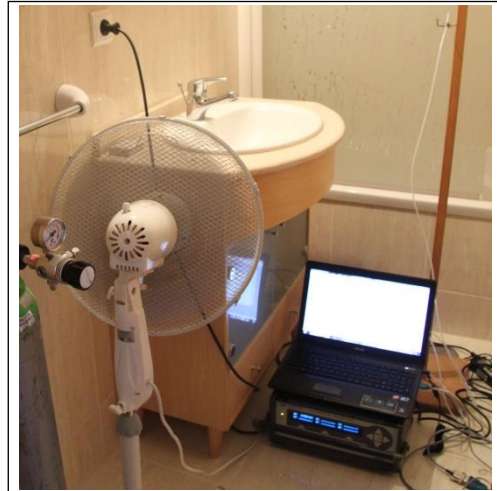
Nº de janelas: 0

Extração mecânica: sim


Referências normativas:

ISO 12569 (2012) e ASTM E741-00 (2000)

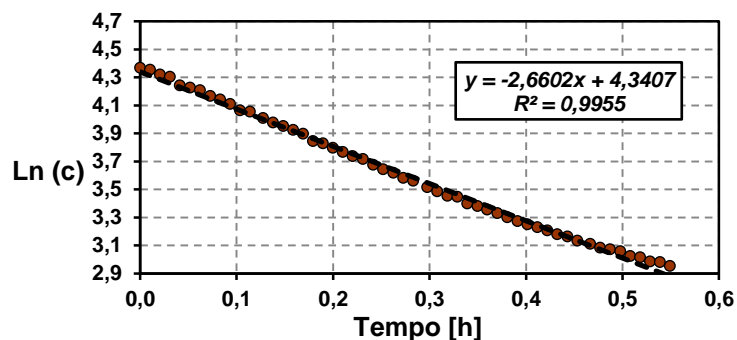
Foto



Medições

Fluke 975 AirMeter™ (no exterior)	velocidade do vento [m/s]	início	fim
	perpendicular à fachada	_____	_____
	paralelo à fachada	_____	_____
data logger HOBO U12 (no interior de cada compartimento)		média ± desvio padrão	
	temperatura [°C]	23 ± 0,02	
	humidade relativa [%]	62 ± 0,08	
condutas de extração de ar	dimensões da tubagem/grelha [m]	D _{superior} = 0,11 D _{inferior} = 0,10	
	velocidade do ar [m/s]	11,0	
	caudal [m³/h]	65,3	

Resultados



R ²	1,00
RPH [h ⁻¹]	2,66
Q [m³/h]	26,9

Observações:

Houve necessidade de se injetar novamente gás, neste compartimento, antes de se realizar o ensaio com as portas fechadas, uma vez que a extração é elevada e não existia gás suficiente para se inicializar mais um ensaio.

FICHA DE ENSAIO

Determinação dos caudais de ventilação em edifícios de habitação através da técnica dos gases traçadores

código do ensaio: DGS3.1.

Data: 17.04.2014

Hora de início: 13:44 Hora de fim: 14:27

Condições atmosféricas: sol, sem nuvens, temperatura de 21°C e humidade relativa de 69%

Pé-direito: 2,6m

Área: 35,9m²

Volume: 93,4m³

Áreas envidraçadas: 7,1m²

Áreas opacas: 13,1m²

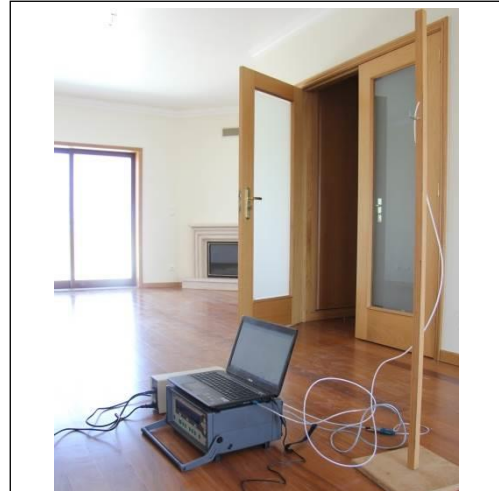
Nº de janelas: 2 Orientação: NO 318° e SE 132°

Extração mecânica: não tem, tem um fogão de sala

Referências normativas:

ISO 12569 (2012) e ASTM E741-00 (2000)

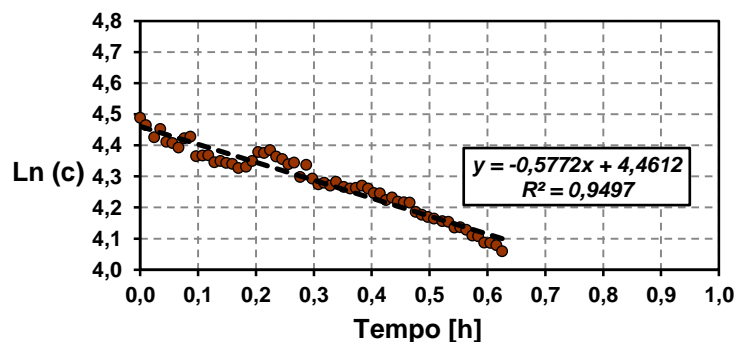
Foto



Medições

Fluke 975 AirMeter™ (no exterior)	velocidade do vento [m/s]	início	fim
	perpendicular à fachada	1,1	
	paralelo à fachada	0,9	
data logger HOBO U12 (no interior de cada compartimento)		média ± desvio padrão	
	temperatura [°C]	23 ± 0,04	
	humidade relativa [%]	62 ± 0,26	
condutas de extração de ar	dimensões da tubagem/grelha [m]	_____	
	velocidade do ar [m/s]	_____	
	caudal [m ³ /h]	_____	

Resultados



R ²	0,95
RPH [h ⁻¹]	0,58
Q [m ³ /h]	53,9

Observações:

FICHA DE ENSAIO

Determinação dos caudais de ventilação em edifícios de habitação através da técnica dos gases traçadores

código do ensaio: DGS3.2.

Data: 17.04.2014

Hora de início: 12:31 Hora de fim: 13:44

Condições atmosféricas: sol, sem nuvens, temperatura de 20°C e humidade relativa de 73%

Pé-direito: 2,6m

Área: 35,9m²

Volume: 93,4m³

Áreas envidraçadas: 7,1m²

Áreas opacas: 13,1m²

Nº de janelas: 2 Orientação: NO 318° e SE 132°

Extração mecânica: não tem, tem um fogão de sala

Referências normativas:

ISO 12569 (2012) e ASTM E741-00 (2000)

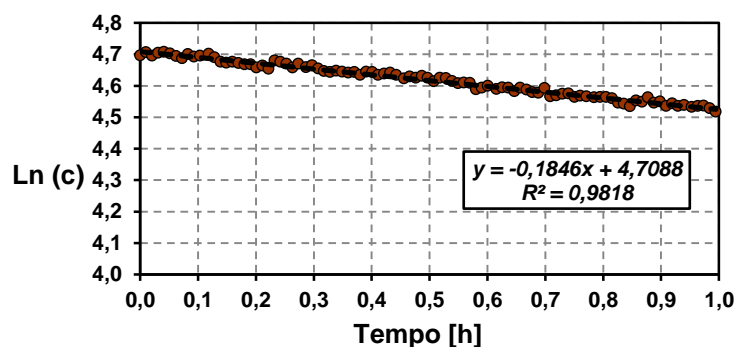
Foto



Medições

Fluke 975 AirMeter™ (no exterior)	velocidade do vento [m/s]	início	fim
	perpendicular à fachada		1,1
	paralelo à fachada		0,9
data logger HOBO U12 (no interior de cada com- partimento)		média ± desvio padrão	
	temperatura [°C]	23 ± 0,04	
	humidade relativa [%]	62 ± 0,17	
condutas de extração de ar	dimensões da tubagem/grelha [m]	_____	
	velocidade do ar [m/s]	_____	
	caudal [m ³ /h]	_____	

Resultados



R ²	0,99
RPH [h ⁻¹]	0,18
Q [m ³ /h]	17,2

Observações:

FICHA DE ENSAIO

Determinação dos caudais de ventilação em edifícios de habitação através da técnica dos gases traçadores

código do ensaio: DGS4.1.1.

Data: 17.04.2014

Hora de início: 14:38 Hora de fim: 15:15

Condições atmosféricas: sol, sem nuvens, temperatura de 22°C e humidade relativa de 64%

Pé-direito: 2,6m

Área: 14,8m²

Volume: 38,5m³

Áreas envidraçadas: 9,2m²

Áreas opacas: 6,0m²

Nº de janelas: 2 janelas/portas Orientação: SE 135°

Extração mecânica: exaustor

Referências normativas:

ISO 12569 (2012) e ASTM E741-00 (2000)

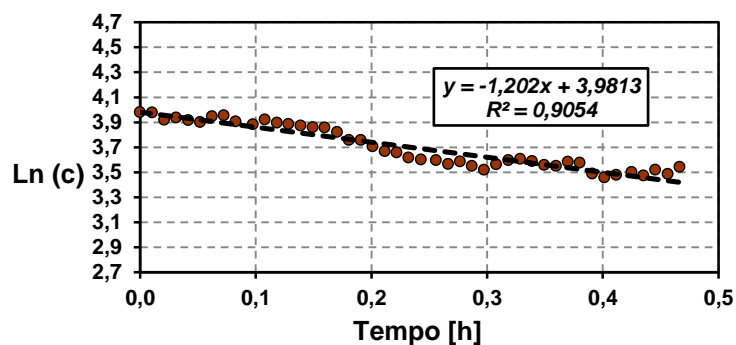
Foto



Medições

Fluke 975 AirMeter™ (no exterior)	velocidade do vento [m/s]	início	fim
	perpendicular à fachada		
	paralelo à fachada		
data logger HOBO U12 (no interior de cada com- partimento)		média ± desvio padrão	
	temperatura [°C]	24 ± 0,04	
	humidade relativa [%]	60 ± 0,08	
condutas de extração de ar	dimensões da tubagem/grelha [m]	_____	
	velocidade do ar [m/s]	_____	
	caudal [m³/h]	_____	

Resultados



R ²	0,91
RPH [h ⁻¹]	1,20
Q [m³/h]	46,3

Observações:

FICHA DE ENSAIO

Determinação dos caudais de ventilação em edifícios de habitação através da técnica dos gases traçadores

código do ensaio: DGS4.1.2.

Data: 17.04.2014

Hora de início: 15:16 Hora de fim: 15:50

Condições atmosféricas: sol, sem nuvens, temperatura de 22°C e humidade relativa de 61%

Pé-direito: 2,6m

Área: 14,8m²

Volume: 38,5m³

Áreas envidraçadas: 9,2m²

Áreas opacas: 6,0m²

Nº de janelas: 2 janelas/portas Orientação: SE 135°

Extração mecânica: exaustor

Referências normativas:

ISO 12569 (2012) e ASTM E741-00 (2000)

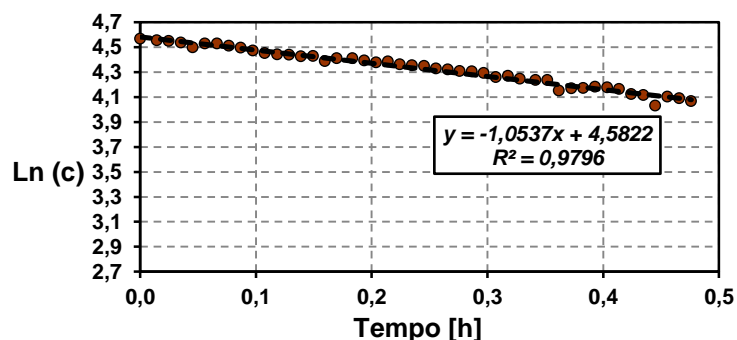
Foto



Medições

Fluke 975 AirMeter™ (no exterior)	velocidade do vento [m/s]	início	fim
	perpendicular à fachada		
	paralelo à fachada		
data logger HOBO U12 (no interior de cada compartimento)		média ± desvio padrão	
	temperatura [°C]	24 ± 0,06	
	humidade relativa [%]	61 ± 0,39	
condutas de extração de ar	dimensões da tubagem/grelha [m]	_____	
	velocidade do ar [m/s]	_____	
	caudal [m ³ /h]	_____	

Resultados



R ²	0,98
RPH [h ⁻¹]	1,05
Q [m ³ /h]	40,6

Observações:

Houve necessidade de se injetar novamente gás, neste compartimento, antes de se realizar o ensaio com as portas fechadas, uma vez que a extração é elevada e não existia gás suficiente para se inicializar mais um ensaio.

FICHA DE ENSAIO

Determinação dos caudais de ventilação em edifícios de habitação através da técnica dos gases traçadores

código do ensaio: DGS4.2.1.

Data: 17.04.2014

Hora de início: 16:18 Hora de fim: 16:46

Condições atmosféricas: sol, sem nuvens, temperatura de 25°C e humidade relativa de 52%

Pé-direito: 2,6m

Área: 14,8m²

Volume: 38,5m³

Áreas envidraçadas: 9,2m²

Áreas opacas: 6,0m²

Nº de janelas: 2 janelas/portas Orientação: SE 135°

Extração mecânica: exaustor

Referências normativas:

ISO 12569 (2012) e ASTM E741-00 (2000)

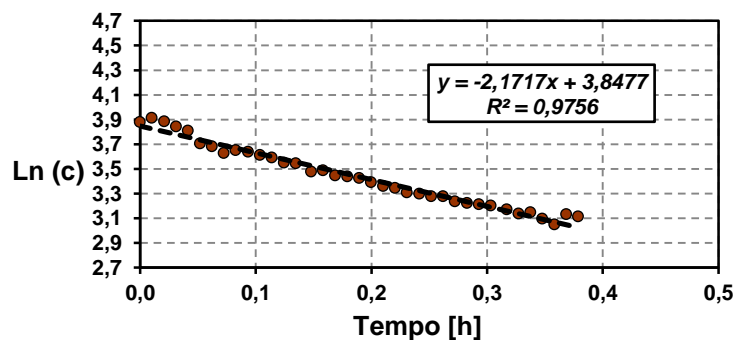
Foto



Medições

Fluke 975 AirMeter™ (no exterior)	velocidade do vento [m/s]	início	fim
	perpendicular à fachada		
	paralelo à fachada		
data logger HOBO U12 (no interior de cada compartimento)		média ± desvio padrão	
	temperatura [°C]	24 ± 0,01	
	humidade relativa [%]	59 ± 0,11	
condutas de extração de ar	dimensões da tubagem/grelha [m]	A _{exaustor} = 0,14 x 0,50	
	velocidade do ar [m/s]	1,2	
	caudal [m ³ /h]	302,4	

Resultados



R ²	0,98
RPH [h ⁻¹]	2,17
Q [m ³ /h]	83,6

Observações:

Houve necessidade de se injetar novamente gás, neste compartimento, antes de se realizar o ensaio com as portas abertas, uma vez que a extração é elevada e não existia gás suficiente para se inicializar mais um ensaio.

FICHA DE ENSAIO

Determinação dos caudais de ventilação em edifícios de habitação através da técnica dos gases traçadores

código do ensaio: DGS4.2.2.

Data: 17.04.2014

Hora de início: 15:50 Hora de fim: 16:15

Condições atmosféricas: sol, sem nuvens, temperatura de 23°C e humidade relativa de 57%

Pé-direito: 2,6m

Área: 14,8m²

Volume: 38,5m³

Áreas envidraçadas: 9,2m²

Áreas opacas: 6,0m²

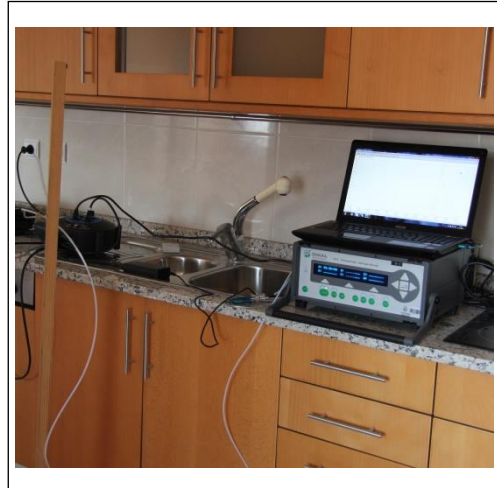
Nº de janelas: 2 janelas/portas Orientação: SE 135°

Extração mecânica: exaustor

Referências normativas:

ISO 12569 (2012) e ASTM E741-00 (2000)

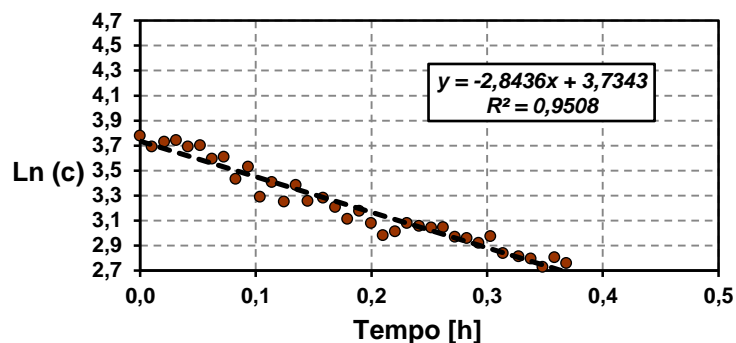
Foto



Medições

Fluke 975 AirMeter™ (no exterior)	velocidade do vento [m/s]	início	fim
	perpendicular à fachada		
	paralelo à fachada		
data logger HOBO U12 (no interior de cada compartimento)		média ± desvio padrão	
	temperatura [°C]	24 ± 0,02	
	humidade relativa [%]	60 ± 0,57	
condutas de extração de ar	dimensões da tubagem/grelha [m]	A _{exaustor} = 0,14 x 0,50	
	velocidade do ar [m/s]	1,2	
	caudal [m ³ /h]	302,4	

Resultados



R ²	0,95
RPH [h ⁻¹]	2,84
Q [m ³ /h]	109,5

Observações:

Existem algumas frinchas bastante pronunciadas nas portas de acesso à lavandaria/arrumos, o que provoca uma admissão de ar notória.

FICHA DE ENSAIO

Determinação dos caudais de ventilação em edifícios de habitação através da técnica dos gases traçadores

código do ensaio: DGS5.1.

Data: 17.04.2014

Hora de início: 16:52 Hora de fim: 17:42

Condições atmosféricas: sol, sem nuvens, temperatura de 25°C e humidade relativa de 50%

Pé-direito: 2,6m

Área: 16,9m²

Volume: 43,9m³

Áreas envidraçadas: 4,8m²

Áreas opacas: 15,4m²

Nº de janelas: 2 Orientação: NE 66° e SE 154°

Extração mecânica: não tem


Referências normativas:

ISO 12569 (2012) e ASTM E741-00 (2000)

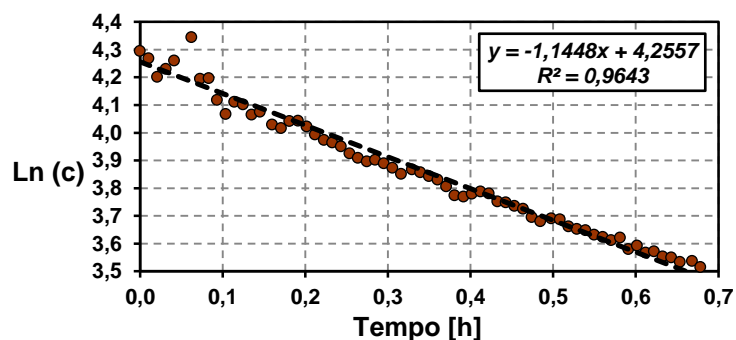
Foto



Medições

Fluke 975 AirMeter™ (no exterior)	velocidade do vento [m/s]	início	fim
	perpendicular à fachada	0,1	
	paralelo à fachada	0,2	
data logger HOBO U12 (no interior de cada compartimento)		média ± desvio padrão	
	temperatura [°C]	25 ± 0,04	
	humidade relativa [%]	59 ± 0,05	
condutas de extração de ar	dimensões da tubagem/grelha [m]	D _{superior} = 0,11 D _{inferior} = 0,10	
	velocidade do ar [m/s]	11,0	
	caudal [m³/h]	65,3	

Resultados



R ²	0,96
RPH [h ⁻¹]	1,14
Q [m³/h]	50,3

Observações:

O quarto não tem extração mecânica, mas a instalação sanitária dentro do quarto têm.

FICHA DE ENSAIO

Determinação dos caudais de ventilação em edifícios de habitação através da técnica dos gases traçadores

código do ensaio: DGS5.2.

Data: 17.04.2014

Hora de início: 17:50 Hora de fim: 18:25

Condições atmosféricas: sol, sem nuvens, temperatura de 24°C e humidade relativa de 53%

Pé-direito: 2,6m

Área: 16,9m²

Volume: 43,9m³

Áreas envidraçadas: 4,8m²

Áreas opacas: 15,4m²

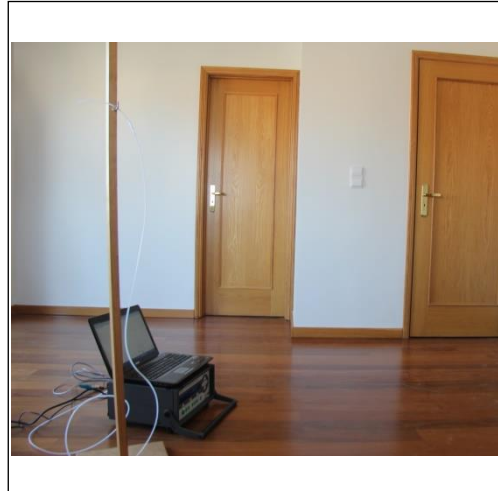
Nº de janelas: 2 Orientação: NE 66° e SE 154°

Extração mecânica: não tem


Referências normativas:

ISO 12569 (2012) e ASTM E741-00 (2000)

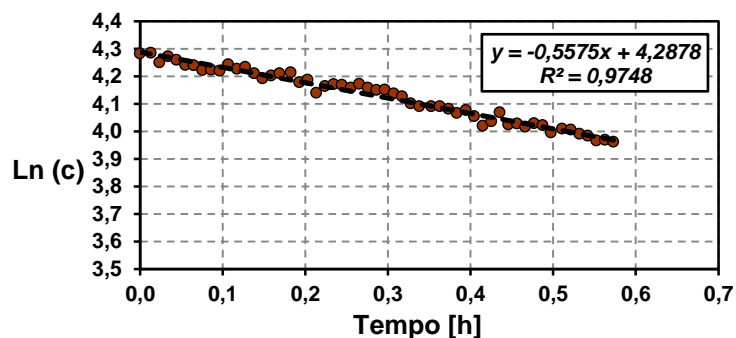
Foto



Medições

Fluke 975 AirMeter™ (no exterior)	velocidade do vento [m/s]	início	fim
	perpendicular à fachada		0,2
	paralelo à fachada		0,3
data logger HOBO U12 (no interior de cada compartimento)		média ± desvio padrão	
	temperatura [°C]	25 ± 0,02	
	humidade relativa [%]	59 ± 0,17	
condutas de extração de ar	dimensões da tubagem/grelha [m]	D _{superior} = 0,11 D _{inferior} = 0,10	
	velocidade do ar [m/s]	11,0	
	caudal [m ³ /h]	65,3	

Resultados

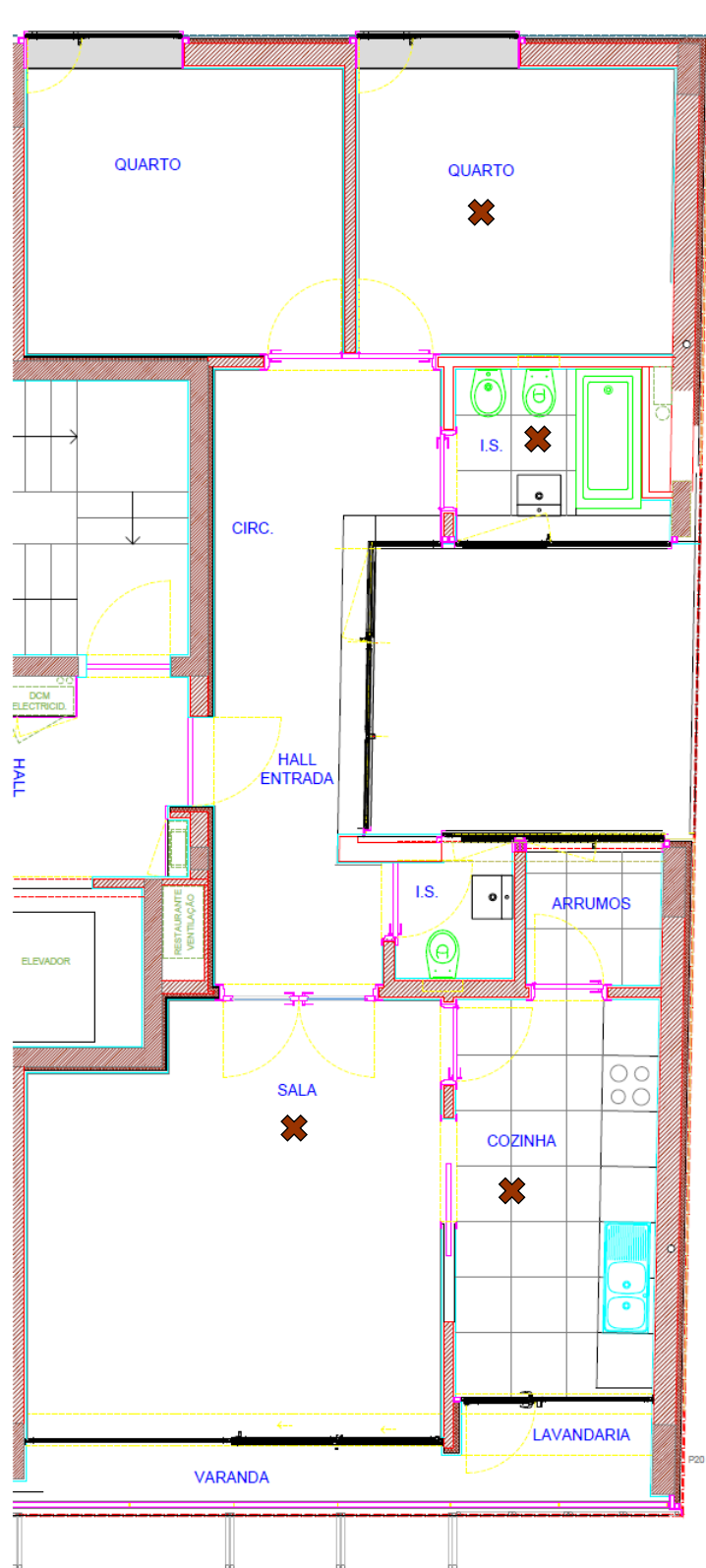


R ²	0,97
RPH [h ⁻¹]	0,56
Q [m ³ /h]	24,5

Observações:

Houve necessidade de se injetar novamente gás, neste compartimento, antes de se realizar o ensaio com as portas fechadas, uma vez que a extração é elevada e não existia gás suficiente para se inicializar mais um ensaio.

ANEXO IV ENSAIO NSF



PLANO DE ENSAIO – NSF

1. Quarto

1.1. porta aberta

1.2. porta fechada

Nota: medir a velocidade do vento perpendicular e paralelo à fachada

Área: 9,2m²

Área envidraçada: 2,1m²

Área opaca: 6,4m²

Pé-direito: 2,4m

Volume: 22,3m³

Nº de janelas: 1

Orientação: N 11°

Tipo de sistema de oclusão: nenhum (?)

2. Instalação sanitária

2.1. porta aberta

2.2. porta fechada

Nota: medir a velocidade do ar na conduta e o diâmetro da tubagem

Área: 3,2m²

Área envidraçada: 2,8m²

Área opaca: 1,7m²

Pé-direito: 2,3m

Volume: 7,1m³

Nº de janelas: 1

Orientação: E 73°

Tipo de sistema de oclusão: nenhum

3. Cozinha (considerando também os arrumos)

3.1. extração ligada, caudal mínimo

3.1.1. porta aberta

3.1.2. porta fechada

3.2. extração ligada, caudal máximo

3.2.1. porta aberta

3.2.2. porta fechada

Nota: medir a velocidade do ar na conduta, a dimensão da grelha do exaustor e a velocidade do vento perpendicular e paralelo à fachada

Área: 11,4m²

Área envidraçada: 6,2m²

Área opaca: 2,7m²

Pé-direito: 2,4m

Volume: 27,6m³

Nº de janelas: 1 nos arrumos, 1 porta de vidro e 1 vão envidraçado fixo

Orientação: S 146° Tipo de sistema de oclusão: portadas na cozinha e nenhum nos arrumos

4. Sala

4.1. porta aberta

4.2. porta fechada

Nota: medir a velocidade do vento perpendicular e paralelo à fachada

Área: 20,3m ²	Área envidraçada: 9,8m ²	Área opaca: 1,2m ²
Pé-direito: 2,4m	Volume: 49,3m ³	
Nº de janelas: 1 janela/porta de acesso à varanda	Orientação: S 177º	
Tipo de sistema de oclusão: portadas		

Atenção: fora do compartimento onde se estão a realizar as medições é conveniente que as condições sejam sempre as mesmas: janelas e portadas fechadas, portas todas fechadas ou todas abertas dependendo da situação do ensaio, exceto nos arrumos em que se mantém sempre a porta aberta, no caso do sistema de ventilação mecânico e centralizado na cozinha e nas instalações sanitárias permanecerá ligado, uma vez que é contínuo.

Em todos os compartimentos, durante os ensaios, com o *data logger* HOBO U12 medir a temperatura e humidade relativa, posteriormente registar a média e o desvio padrão destes dois parâmetros em cada compartimento.

FICHA DE ENSAIO

Determinação dos caudais de ventilação em edifícios de habitação através da técnica dos gases traçadores

código do ensaio: NSF1.1.

Data: 16.04.2014

Hora de início: 11:23 Hora de fim: 11:59

Condições atmosféricas: sol, sem nuvens, temperatura de 18°C e humidade relativa de 81%

Pé-direito: 2,4m

Área: 9,2m²

Volume: 22,3m³

Área envidraçada: 2,1m²

Área opaca: 6,4m²

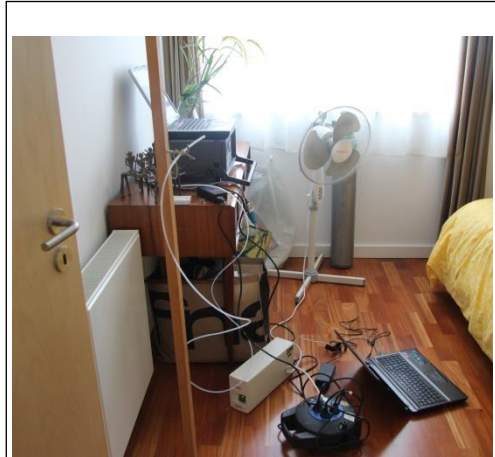
Nº de janelas: 1 Orientação: N 11°

Extração mecânica: não tem

Referências normativas:

ISO 12569 (2012) e ASTM E741-00 (2000)

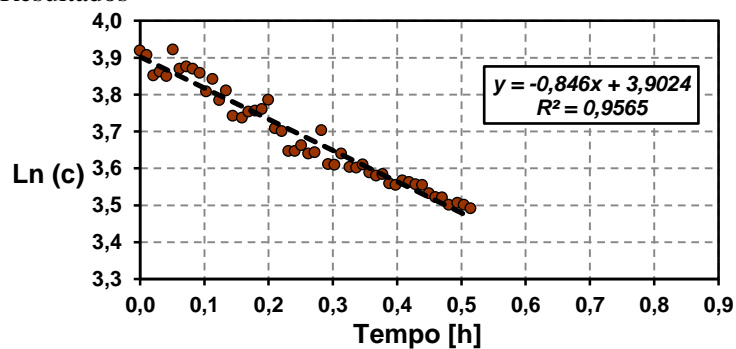
Foto



Medições

Fluke 975 AirMeter™ (no exterior)	velocidade do vento [m/s]	início	fim
	perpendicular à fachada	0,3	0,2
	paralelo à fachada	1,0	0,5
data logger HOBO U12 (no interior de cada compartimento)		média ± desvio padrão	
	temperatura [°C]	20 ± 0,04	
	humidade relativa [%]	73 ± 0,15	
condutas de extração de ar	dimensões da tubagem/grelha [m]	_____	
	velocidade do ar [m/s]	_____	
	caudal [m ³ /h]	_____	

Resultados



R ²	0,96
RPH [h ⁻¹]	0,85
Q [m ³ /h]	18,8

Observações:

FICHA DE ENSAIO

Determinação dos caudais de ventilação em edifícios de habitação através da técnica dos gases traçadores

código do ensaio: NSF1.2.

Data: 16.04.2014

Hora de início: 12:00 Hora de fim: 12:51

Condições atmosféricas: sol, sem nuvens, temperatura de 18°C e humidade relativa de 79%

Pé-direito: 2,4m

Área: 9,2m²

Volume: 22,3m³

Área envidraçada: 2,1m²

Área opaca: 6,4m²

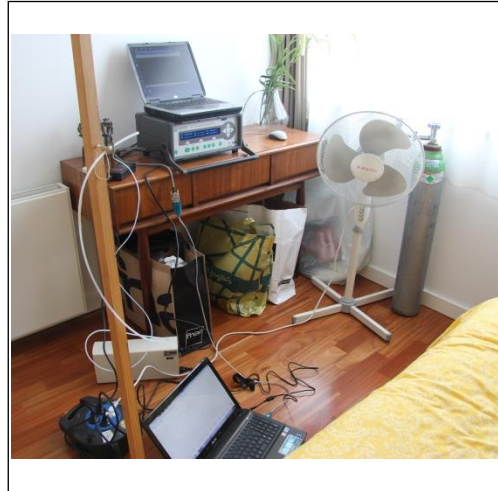
Nº de janelas: 1 Orientação: N 11°

Extração mecânica: não tem

Referências normativas:

ISO 12569 (2012) e ASTM E741-00 (2000)

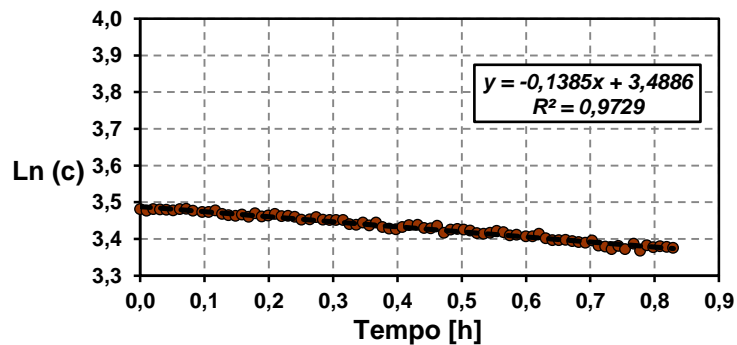
Foto



Medições

Fluke 975 AirMeter™ (no exterior)	velocidade do vento [m/s]	início	fim
	perpendicular à fachada	0,2	0,3
	paralelo à fachada	0,5	2,0
data logger HOBO U12 (no interior de cada compartimento)		média ± desvio padrão	
	temperatura [°C]	20 ± 0,07	
	humidade relativa [%]	72 ± 0,29	
condutas de extração de ar	dimensões da tubagem/grelha [m]	_____	
	velocidade do ar [m/s]	_____	
	caudal [m ³ /h]	_____	

Resultados



R ²	0,97
RPH [h ⁻¹]	0,14
Q [m ³ /h]	3,1

Observações:

FICHA DE ENSAIO

Determinação dos caudais de ventilação em edifícios de habitação através da técnica dos gases traçadores

código do ensaio: NSF2.1.

Data: 16.04.2014

Hora de início: 14:15 Hora de fim: 14:52

Condições atmosféricas: sol, sem nuvens, temperatura de 19°C e humidade relativa de 72%

Pé-direito: 2,3m

Área: 3,2m²

Volume: 7,1m³

Área envidraçada: 2,8m²

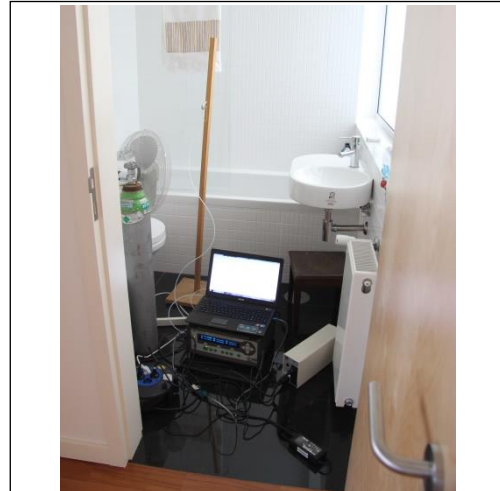
Área opaca: 1,7m²

Nº de janelas: 1 Orientação: E 73°

Extração mecânica: sim

Referências normativas:
ISO 12569 (2012) e ASTM E741-00 (2000)

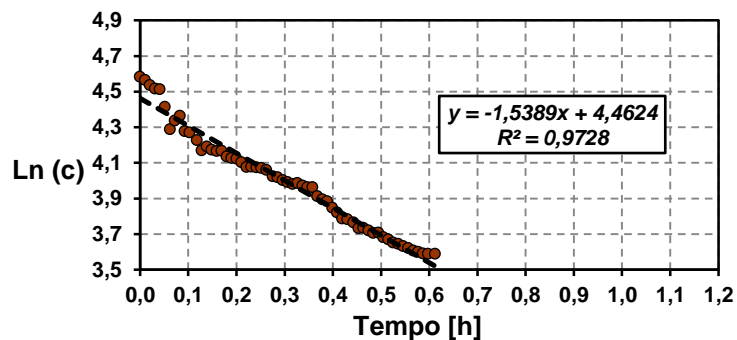
Foto



Medições

Fluke 975 AirMeter™ (no exterior)	velocidade do vento [m/s]	início	fim
	perpendicular à fachada	_____	_____
	paralelo à fachada	_____	_____
data logger HOBO U12 (no interior de cada compartimento)		média ± desvio padrão	
	temperatura [°C]	18 ± 0,04	
	humidade relativa [%]	79 ± 0,13	
condutas de extração de ar	dimensões da tubagem/grelha [m]	_____	
	velocidade do ar [m/s]	_____	
	caudal [m³/h]	_____	

Resultados



R ²	0,97
RPH [h ⁻¹]	1,54
Q [m³/h]	11,0

Observações:

Apercebi-me de que a ventilação, eventualmente, pudesse estar desligada, pois não havia qualquer som proveniente da extração e ao medir a velocidade do ar obtive valores muito baixos.

FICHA DE ENSAIO

Determinação dos caudais de ventilação em edifícios de habitação através da técnica dos gases traçadores

código do ensaio: NSF2.2.

Data: 16.04.2014

Hora de início: 13:03 Hora de fim: 14:14

Condições atmosféricas: sol, sem nuvens, temperatura de 18°C e humidade relativa de 76%

Pé-direito: 2,3m

Área: 3,2m²

Volume: 7,1m³

Área envidraçada: 2,8m²

Área opaca: 1,7m²

Nº de janelas: 1 Orientação: E 73°

Extração mecânica: sim

Referências normativas:
ISO 12569 (2012) e ASTM E741-00 (2000)

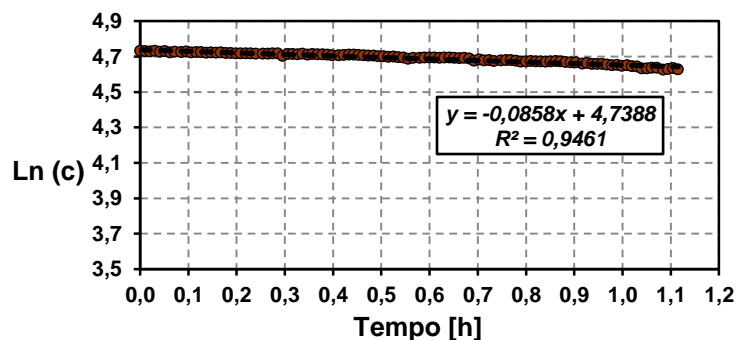
Foto



Medições

Fluke 975 AirMeter™ (no exterior)	velocidade do vento [m/s]	início	fim
	perpendicular à fachada	_____	_____
	paralelo à fachada	_____	_____
data logger HOBO U12 (no interior de cada com- partimento)		média ± desvio padrão	
	temperatura [°C]	18 ± 0,20	
	humidade relativa [%]	78 ± 1,25	
condutas de extração de ar	dimensões da tubagem/grelha [m]	_____	
	velocidade do ar [m/s]	_____	
	caudal [m ³ /h]	_____	

Resultados



R ²	0,95
RPH [h ⁻¹]	0,09
Q [m ³ /h]	0,6

Observações:

Apercebi-me de que a ventilação, eventualmente, pudesse estar desligada, pois não havia qualquer som proveniente da extração e ao medir a velocidade do ar obtive valores muito baixos.

FICHA DE ENSAIO

Determinação dos caudais de ventilação em edifícios de habitação através da técnica dos gases traçadores

código do ensaio: NSF3.1.1.

Data: 16.04.2014

Hora de início: 15:03 Hora de fim: 16:04

Condições atmosféricas: sol, sem nuvens, temperatura de 19°C e humidade relativa de 67%

Pé-direito: 2,4m

Área: $9,3 + 2,1 = 11,4\text{m}^2$

Volume: $27,6\text{m}^3$

Área envidraçada: $6,2\text{m}^2$

Área opaca: $2,7\text{m}^2$

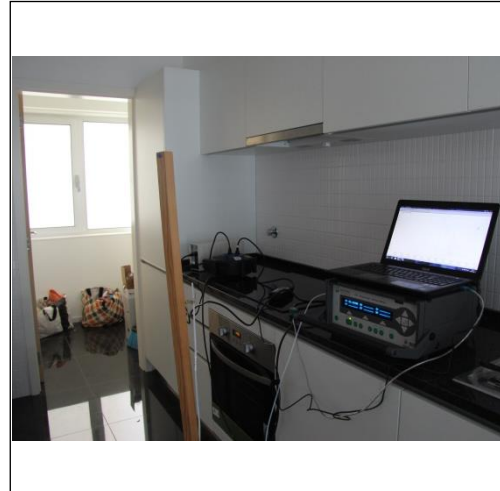
Nº de janelas: 1 + 1 porta Orientação: S 146°

Extração mecânica: exaustor + grelha de extração

Referências normativas:

ISO 12569 (2012) e ASTM E741-00 (2000)

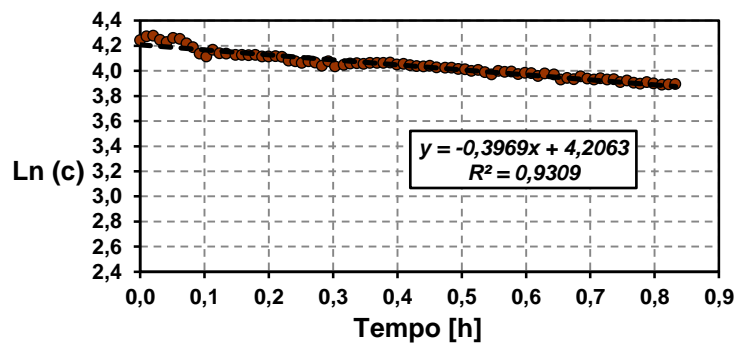
Foto



Medições

Fluke 975 AirMeter™ (no exterior)	velocidade do vento [m/s]	início	fim
	perpendicular à fachada	0,3	
	paralelo à fachada	0,8	
data logger HOBO U12 (no interior de cada compartimento)		média ± desvio padrão	
	temperatura [°C]	$19 \pm 0,11$	
	humidade relativa [%]	$78 \pm 0,43$	
condutas de extração de ar	dimensões da tubagem/grelha [m]	$D_{\text{grelha}} = 0,09$	
	velocidade do ar [m/s]	0,1	
	caudal [m³/h]	2,3	

Resultados



R^2	0,93
RPH [h ⁻¹]	0,40
Q [m³/h]	11,0

Observações:

Foi considerado cozinha + arrumos (onde existe uma grelha de extração).

FICHA DE ENSAIO

Determinação dos caudais de ventilação em edifícios de habitação através da técnica dos gases traçadores

código do ensaio: NSF3.1.2.

Data: 16.04.2014

Hora de início: 16:04 Hora de fim: 16:48

Condições atmosféricas: sol, sem nuvens, temperatura de 19°C e humidade relativa de 69%

Pé-direito: 2,4m

Área: $9,3 + 2,1 = 11,4\text{m}^2$

Volume: $27,6\text{m}^3$

Área envidraçada: $6,2\text{m}^2$

Área opaca: $2,7\text{m}^2$

Nº de janelas: 1 + 1 porta Orientação: S 146°

Extração mecânica: exaustor + grelha de extração

Referências normativas:

ISO 12569 (2012) e ASTM E741-00 (2000)

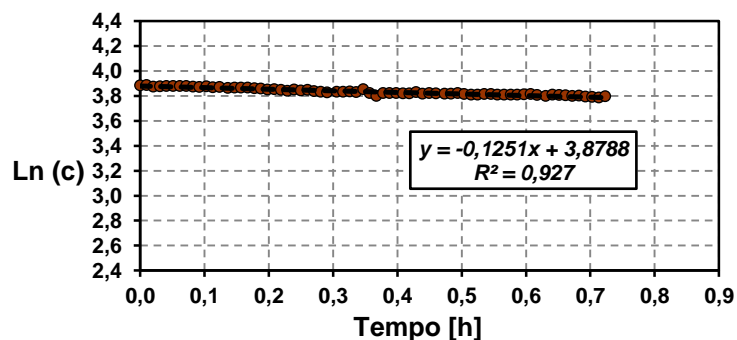
Foto



Medições

Fluke 975 AirMeter™ (no exterior)	velocidade do vento [m/s]	início	fim
	perpendicular à fachada		
	paralelo à fachada		
data logger HOBO U12 (no interior de cada compartimento)		média ± desvio padrão	
	temperatura [°C]	$19 \pm 0,01$	
	humidade relativa [%]	$78 \pm 0,14$	
condutas de extração de ar	dimensões da tubagem/grelha [m]	$D_{\text{grelha}} = 0,09$	
	velocidade do ar [m/s]	0,1	
	caudal [m³/h]	2,3	

Resultados



R^2	0,93
RPH [h ⁻¹]	0,13
Q [m³/h]	3,5

Observações:

Foi considerado cozinha + arrumos (onde existe uma grelha de extração).

FICHA DE ENSAIO

Determinação dos caudais de ventilação em edifícios de habitação através da técnica dos gases traçadores

código do ensaio: NSF3.2.1.

Data: 16.04.2014

Hora de início: 16:55 Hora de fim: 17:31

Condições atmosféricas: sol, algumas nuvens, temperatura de 19°C e humidade relativa de 73%

Pé-direito: 2,4m

Área: $9,3 + 2,1 = 11,4\text{m}^2$

Volume: $27,6\text{m}^3$

Área envidraçada: $6,2\text{m}^2$

Área opaca: $2,7\text{m}^2$

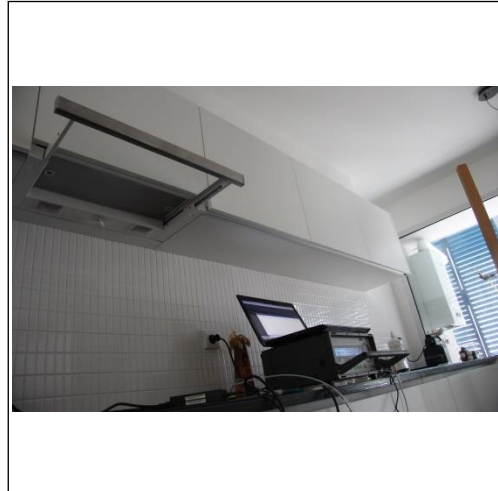
Nº de janelas: 1 + 1 porta Orientação: S 146º

Extração mecânica: exaustor + grelha de extração

Referências normativas:

ISO 12569 (2012) e ASTM E741-00 (2000)

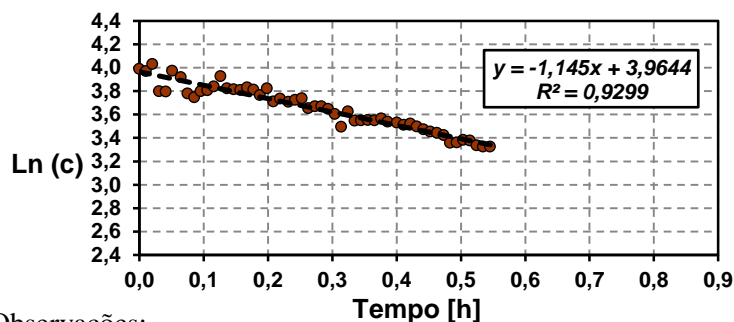
Foto



Medições

Fluke 975 AirMeter™ (no exterior)	velocidade do vento [m/s]	início	fim
	perpendicular à fachada		
	paralelo à fachada		
data logger HOBO U12 (no interior de cada compartimento)		média ± desvio padrão	
	temperatura [°C]	$19 \pm 0,02$	
	humidade relativa [%]	$78 \pm 0,33$	
condutas de extração de ar	dimensões da tubagem/grelha [m]	$D_{\text{grelha}} = 0,09$ $A_{\text{exaustor}} = 0,14 \times 0,50$	
	velocidade do ar [m/s]	$V_{\text{grelha}} = 0,7$ $V_{\text{exaustor}} = 0,6$	
	caudal [m^3/h]	$Q_{\text{grelha}} = 16,0$ $Q_{\text{exaustor}} = 151,2$	

Resultados



R^2	0,93
RPH [h^{-1}]	1,15
Q [m^3/h]	31,8

Observações:

Ao abrir o exaustor verificou-se uma inversão do fluxo de ar na grelha dos arrumos e na exaustão das instalações sanitárias. Penso que esta habitação tem um sistema de ventilação misto: mecânico na cozinha e natural nos arrumos e nas instalações sanitárias.

FICHA DE ENSAIO

Determinação dos caudais de ventilação em edifícios de habitação através da técnica dos gases traçadores

código do ensaio: NSF3.2.2.

Data: 16.04.2014

Hora de início: 17:32 Hora de fim: 18:02

Condições atmosféricas: sol, algumas nuvens, temperatura de 18°C e humidade relativa de 74%

Pé-direito: 2,4m

Área: $9,3 + 2,1 = 11,4\text{m}^2$

Volume: $27,6\text{m}^3$

Área envidraçada: $6,2\text{m}^2$

Área opaca: $2,7\text{m}^2$

Nº de janelas: 1 + 1 porta Orientação: S 146°

Extração mecânica: exaustor + grelha de extração

Referências normativas:

ISO 12569 (2012) e ASTM E741-00 (2000)

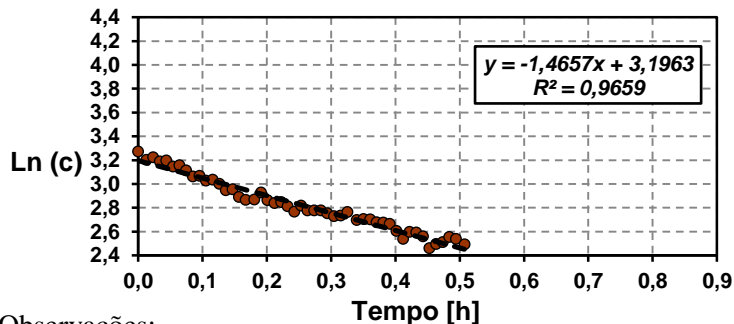
Foto



Medições

Fluke 975 AirMeter™ (no exterior)	velocidade do vento [m/s]	início	fim
	perpendicular à fachada		0,7
	paralelo à fachada		1,0
data logger HOBO U12 (no interior de cada compartimento)		média ± desvio padrão	
	temperatura [°C]	$19 \pm 0,02$	
	humidade relativa [%]	$77 \pm 0,11$	
condutas de extração de ar	dimensões da tubagem/grelha [m]	$D_{\text{grelha}} = 0,09$ $A_{\text{exaustor}} = 0,14 \times 0,50$	
	velocidade do ar [m/s]	$V_{\text{grelha}} = 0,7$ $V_{\text{exaustor}} = 0,6$	
	caudal [m³/h]	$Q_{\text{grelha}} = 16,0$ $Q_{\text{exaustor}} = 151,2$	

Resultados



R^2	0,97
RPH [h^{-1}]	1,47
Q [m^3/h]	40,6

Observações:

Ao abrir o exaustor verificou-se uma inversão do fluxo de ar na grelha dos arrumos e na exaustão das instalações sanitárias. Penso que esta habitação tem um sistema de ventilação misto: mecânico na cozinha e natural nos arrumos e nas instalações sanitárias.

FICHA DE ENSAIO

Determinação dos caudais de ventilação em edifícios de habitação através da técnica dos gases traçadores

código do ensaio: NSF4.1.

Data: 16.04.2014

Hora de início: 18:09 Hora de fim: 19:02

Condições atmosféricas: algumas nuvens, temperatura de 18°C e humidade relativa de 73%

Pé-direito: 2,4m

Área: 20,3m²

Volume: 49,3m³

Área envidraçada: 9,8m²

Área opaca: 1,2m²

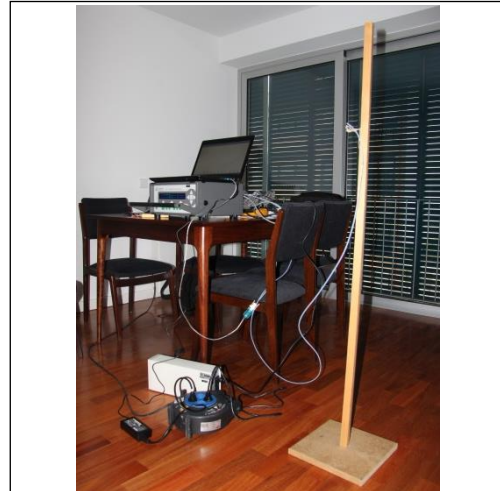
Nº de janelas: 1 Orientação: S 177°

Extração mecânica: não tem

Referências normativas:

ISO 12569 (2012) e ASTM E741-00 (2000)

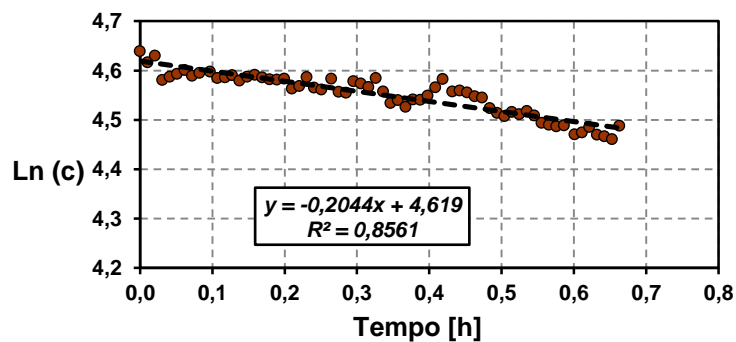
Foto



Medições

Fluke 975 AirMeter™ (no exterior)	velocidade do vento [m/s]	início	fim
	perpendicular à fachada	0,7	
	paralelo à fachada	1,0	
data logger HOBO U12 (no interior de cada com- partimento)		média ± desvio padrão	
	temperatura [°C]	19 ± 0,05	
	humidade relativa [%]	75 ± 0,49	
condutas de extração de ar	dimensões da tubagem/grelha [m]	_____	
	velocidade do ar [m/s]	_____	
	caudal [m ³ /h]	_____	

Resultados



R ²	0,86
RPH [h ⁻¹]	0,20
Q [m ³ /h]	10,1

Observações:

FICHA DE ENSAIO

Determinação dos caudais de ventilação em edifícios de habitação através da técnica dos gases traçadores

código do ensaio: NSF4.2.

Data: 16.04.2014

Hora de início: 19:03 Hora de fim: 19:51

Condições atmosféricas: algumas nuvens, temperatura de 18°C e humidade relativa de 73%

Pé-direito: 2,4m

Área: 20,3m²

Volume: 49,3m³

Área envidraçada: 9,8m²

Área opaca: 1,2m²

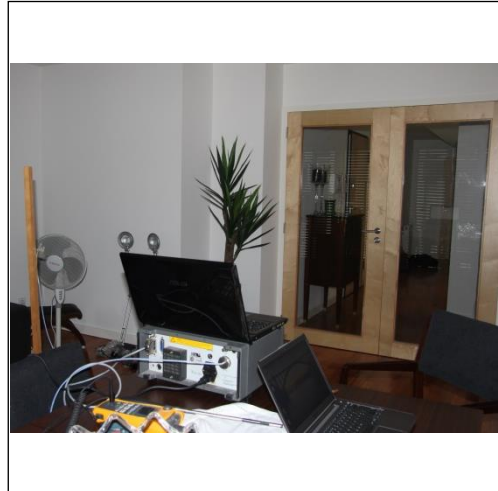
Nº de janelas: 1 Orientação: S 177°

Extração mecânica: não tem

Referências normativas:

ISO 12569 (2012) e ASTM E741-00 (2000)

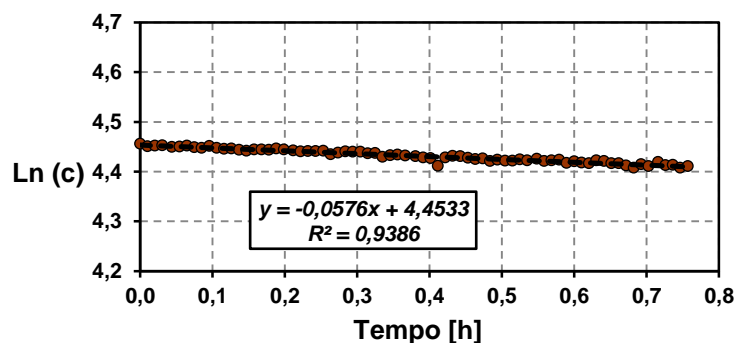
Foto



Medições

Fluke 975 AirMeter™ (no exterior)	velocidade do vento [m/s]	início	fim
	perpendicular à fachada		0,2
	paralelo à fachada		0,4
data logger HOBO U12 (no interior de cada compartimento)		média ± desvio padrão	
	temperatura [°C]	20 ± 0,09	
	humidade relativa [%]	76 ± 0,40	
condutas de extração de ar	dimensões da tubagem/grelha [m]	_____	
	velocidade do ar [m/s]	_____	
	caudal [m ³ /h]	_____	

Resultados

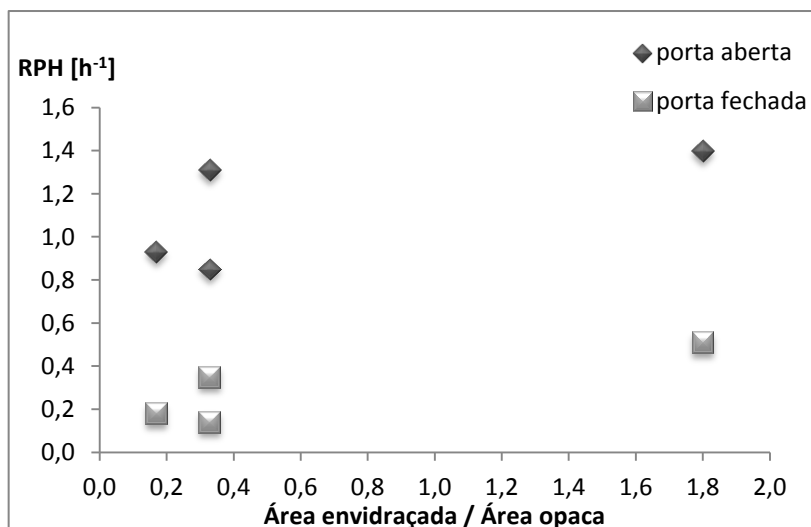
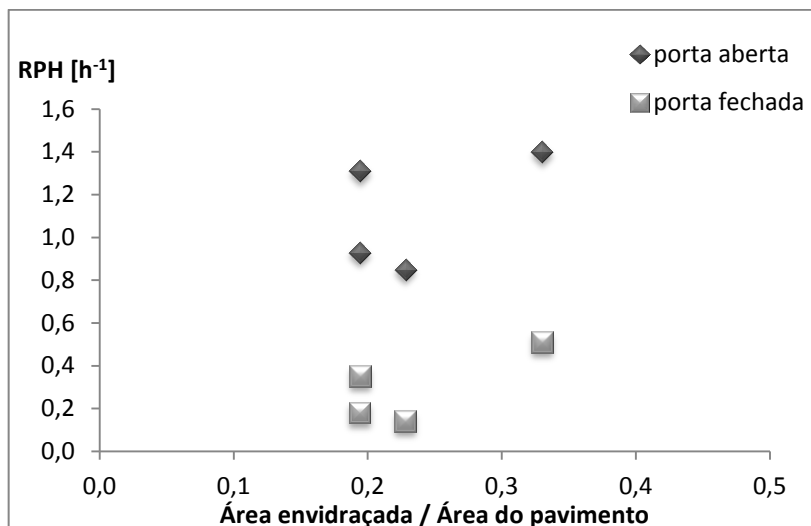
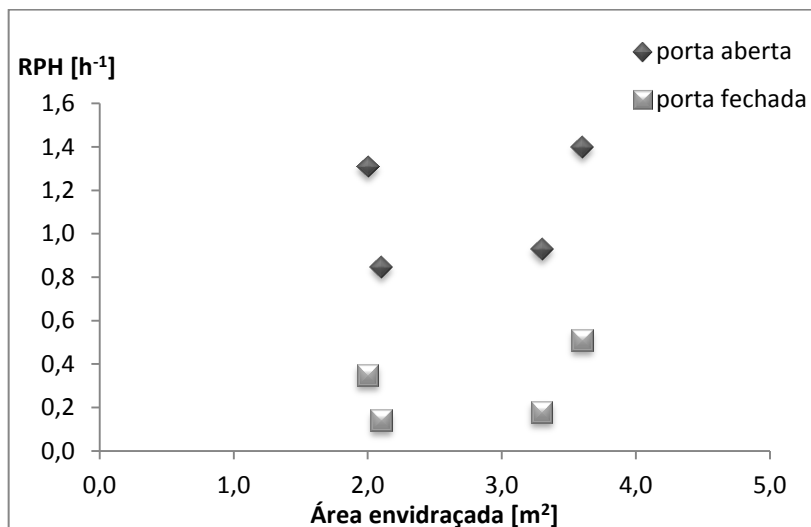


R ²	0,94
RPH [h ⁻¹]	0,06
Q [m ³ /h]	2,8

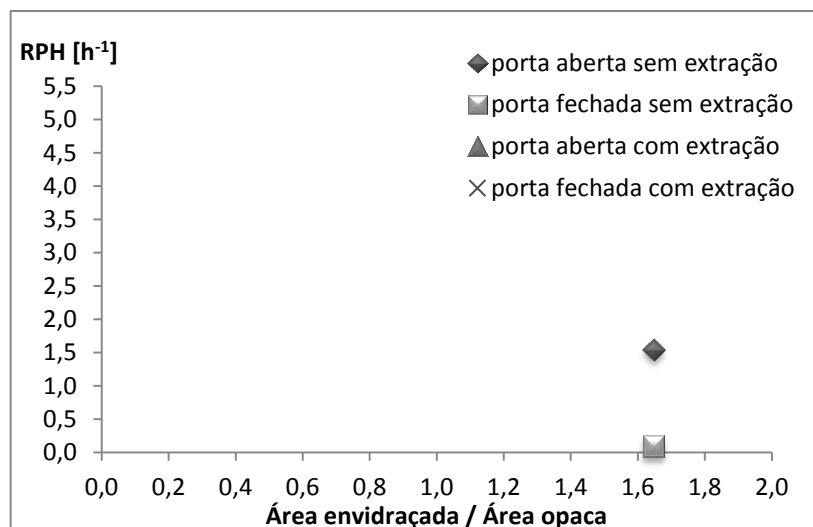
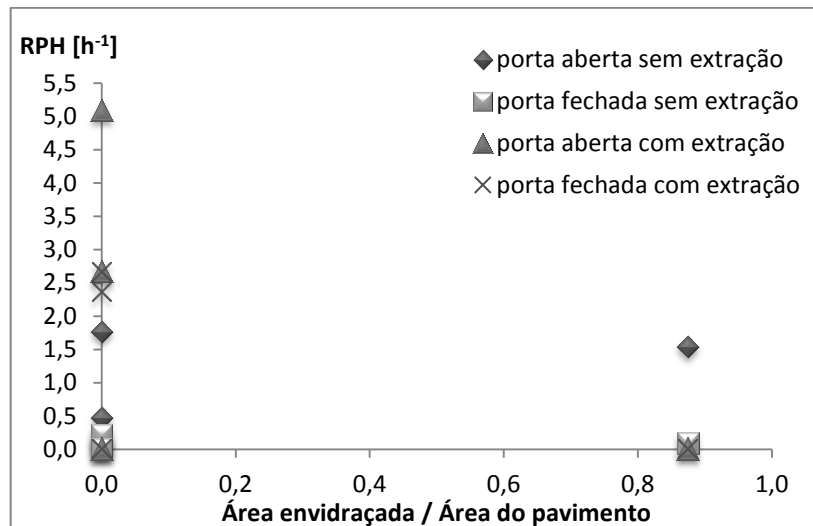
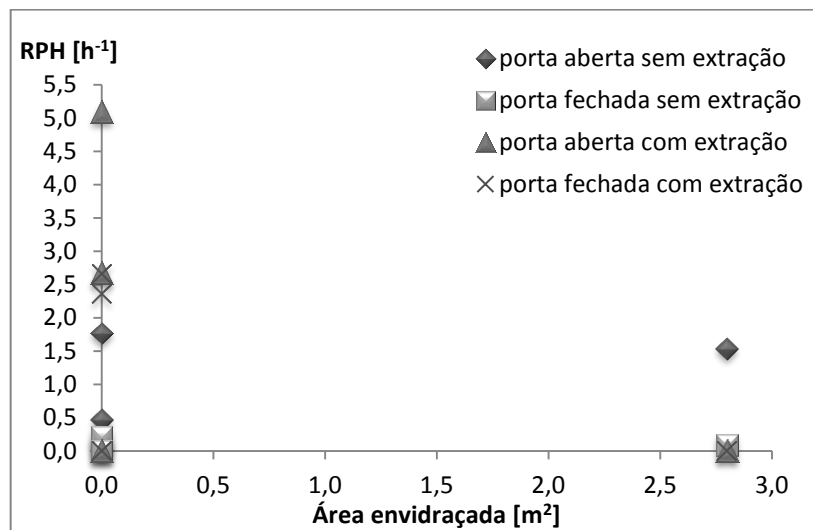
Observações:

ANEXO V GRÁFICOS

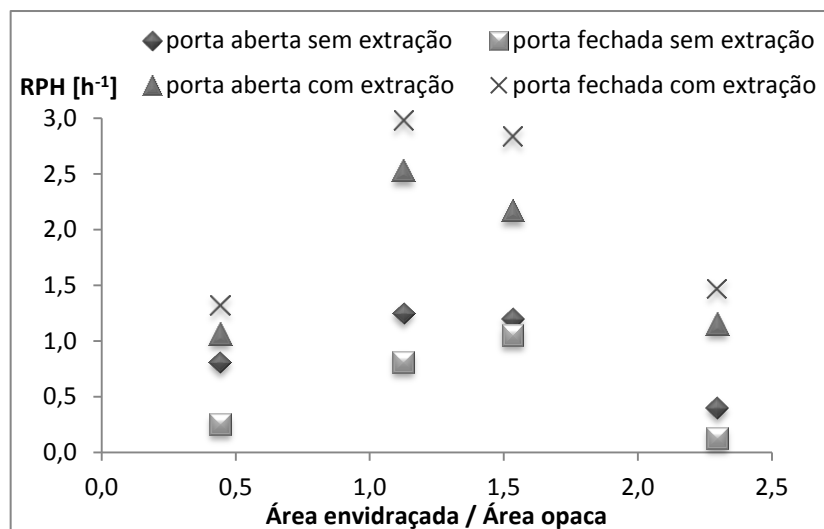
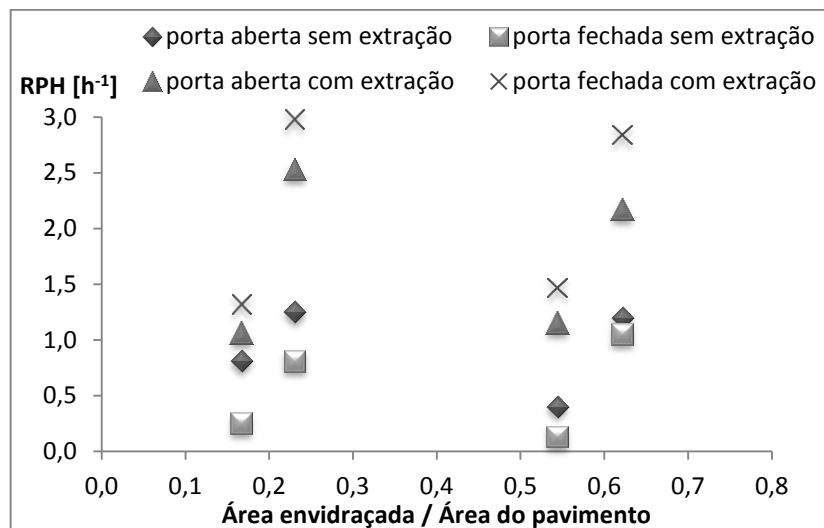
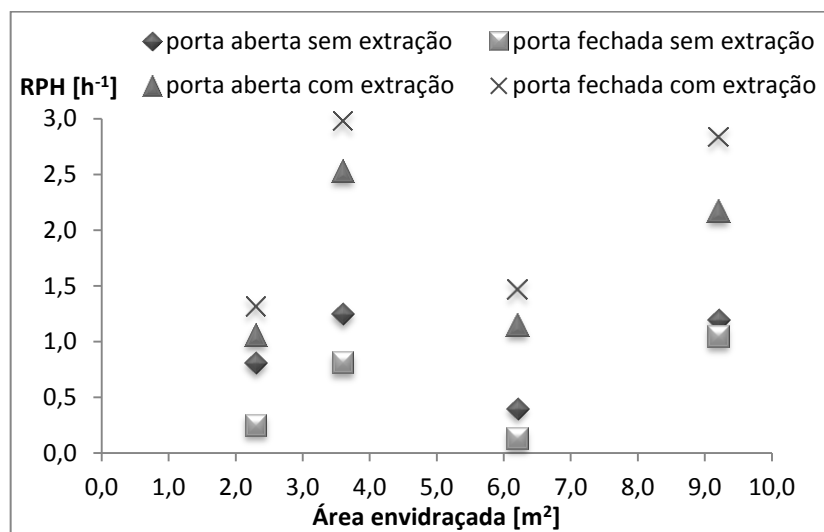
QUARTOS



INSTALAÇÕES SANITÁRIAS



COZINHAS



SALAS

